

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України  
Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут»

**Всеукраїнська студентська олімпіада  
зі спеціальності  
«Електротехнічні системи  
електроспоживання»**

**II тур**

**Варіанти контрольних завдань  
та їх розв'язання**

Київ  
НТУУ «КПІ»  
2012

Всеукраїнська студентська олімпіада зі спеціальності «Електротехнічні системи електроспоживання» II тур [Текст]: Варіанти контрольних завдань та їх розв'язання / Уклад.: М.А. Денисенко, Л.І. Несен, В.А. Попов та ін. – К.: НТУУ «КПІ», 2012. – 108 с.

Навчальне видання

**Всеукраїнська студентська олімпіада  
зі спеціальності  
«Електротехнічні системи  
електроспоживання»**

**II тур**

**Варіанти контрольних завдань  
та їх розв'язання**

Укладачі: *Денисенко Микола Адамович, д-р техн. наук ФРН, проф.  
Несен Лариса Іванівна, доц.  
Попов Володимир Андрійович, канд. техн. наук, доц.  
Прокопенко Володимир Васильович, канд. техн. наук, доц.  
Соловей Олександр Іванович, канд. техн. наук, доц.  
Ткаченко Вадим Владиславович, ст. викладач.  
Федосенко Микола Миколайович, канд. техн. наук, доц.  
Ярмолюк Олена Сергіївна, аспірантка*

Відповідальний редактор *А.І. Замулко, канд. техн. наук, доц.*

Рецензент *В.П. Розен, канд. техн. наук, проф.*

*За редакцією укладачів  
Надруковано з оригінал-макета замовника*

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
БІЛЕТ 1.....	7
Завдання 1.....	7
Рішення 1.....	13
Завдання 2.....	23
Рішення 2.....	23
Завдання 3.....	24
Рішення 3.....	25
БІЛЕТ 2.....	26
Завдання 1.....	26
Рішення 1.....	36
Завдання 2.....	64
Рішення 2.....	64
Завдання 3.....	65
Рішення 3.....	67
БІЛЕТ 3.....	69
Завдання 1.....	69
Рішення 1.....	79
Завдання 2.....	97
Рішення 2.....	99
Завдання 3.....	102
Рішення 3.....	104

## ВСТУП

Згідно з наказом Міністерства освіти і науки України № 1090 від 02.12.2010 «Про проведення Всеукраїнської студентської олімпіади 2010/2011 навчального року» Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут» призначено базовим ВНЗ із проведення II етапу Всеукраїнської студентської олімпіади зі спеціальності «Електротехнічні системи електроспоживання», яка відбулася 20 – 23 квітня 2011 року.

Викладачами кафедри електропостачання ІЕЕ НТУУ «КПІ» було підготовлено 3 варіанти конкурсних білетів. Кожен білет містив три завдання (дві задачі та одне теоретичне питання) з наступних учбових дисциплін:

- комплексна задача на базі дисциплін системи електропостачання та перехідні процеси;
- математичні задачі енергетики;
- споживачі електричної енергії (теоретичне питання).

У другому турі олімпіади прийняли участь 42 студенти 4-х та 5-х курсів із 15-и вищих навчальних закладів (ВНЗ) України.

На зборах викладачів вузів, які прибули разом зі студентами для участі в олімпіаді, вони були ознайомлені зі змістом завдання, а також прийняли рішення щодо визначення переможців у командному заліку. Вибір конкретного білету стався шляхом жеребкування безпосередньо на початку конкурсу. Також був затверджений склад комісій для перевірки виконаних студентами завдань окремо з кожної дисципліни.

З розв'язанням завдань більшість студентів справились успішно. Найбільш суттєвими помилками та недоліками були:

- використання для розрахунку електричних навантажень електроприймачів (ЕП) в електричній мережі методу упорядкованих діаграм, що застосовувався раніше, замість існуючого модифікованого методу упорядкованих діаграм (методу розрахункових коефіцієнтів),

ототожнення розрахункових (за нагріванням) і максимальних (півгодинних максимумів середнього навантаження) навантажень;

- невміння вибирати силовий розподільний щит та його апарати;
- невміння знаходити опір системи за заданим значенням струму короткого замикання на первинній стороні розподільного трансформатора;
- невміння розв'язувати обернені задачі з дисципліни «Теорія ймовірності та математична статистика», а саме – визначення межі інтервалу розподілу навантаження та ймовірності перебування значень навантаження у певному інтервалі за заданими законом і параметрами розподілу випадкової величини;
- недостатній рівень теоретичних знань з печей опору прямої дії дисципліни «Споживачі електричної енергії».

#### **Переможці Олімпіади в індивідуальному заліку:**

№ з/п	Прізвище, ім'я, по батькові студента	Повна назва вищого навчального закладу	Результати		
			Бали	Місце	% від максимально можливого
1	Ладоня Сергій Олександрович	Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»	64	1	64
2	Владикін Андрій Анатолійович	Донецький національний технічний університет	40	2	40
3	Чебан В'ячеслав Володимирович	Одеський національний політехнічний університет	36	2	36
4	Сердюк Дмитро Валерійович	Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»	35	3	35
5	Івко Олександр Миколайович	Одеський національний політехнічний університет	32	3	32
6	Воропаєв Олексій Олексійович	Приазовський державний технічний університет	28	3	28

### **Переможці Олімпіади у командному заліку:**

Національний технічний університет України «Київський політехнічний Інститут», Одеський національний політехнічний університет, Донецький національний технічний університет, Тернопільський державний технічний університет ім. Івана Пулюя, Приазовський державний технічний університет, Сумський державний університет.

Переможців олімпіади було нагороджено відповідними грамотами та подарунками від спонсорів: компанія «ЗАО Диэлектрические кабельные системы Украины – ДКС», міжнародна електротехнічна компанія «ІЕК» та ТОВ центральна енергосервісна компанія «ЕСКО-ЦЕНТР».

Кафедра електропостачання НТУУ «КПІ» висловлює щиру подяку всім викладачам ВНЗ за їх активну участь і допомогу у проведенні другого туру олімпіади та надає варіанти розроблених завдань студентам й їх розв'язання.

# БІЛЕТ 1

## Завдання 1:

1. Знайти загальні розрахункові навантаження на шинах силового розподільного щита (СРЩ) і щита низької напруги трансформатора (рис. 1.1).
2. Вибрати тип і номінальну потужність конденсаторної батареї (КБ) за умови забезпечення бажаного коефіцієнта реактивної потужності  $\text{tg}\varphi = 0,328$  на шинах 0,4 кВ трансформатора.
3. Вибрати переріз кабелю АВВГ-1, прокладеного в кабельному каналі, для живлення СРЩ, кількість і переріз проводів АПВ, прокладених в трубі в підлозі для живлення електродвигунів навантаження  $S1$ .
4. Вибрати тип СРЩ і номінальні дані його апаратів.
5. Вибрати автоматичний вимикач  $SF1$ .
6. Розрахувати надперехідний та ударний струми трифазного короткого замикання (КЗ) в точках  $K_1$  та  $K_2$  без врахування опору дуги та підживлення місця КЗ від електродвигунів  $M_1-M_6$ .

## Вихідні дані:

Вихідні дані наведено нижче, а також у таблиці 1.1 і частково на рис.1.1.

Паспортні дані трансформатора:  $S_H = 1000$  кВ·А;  $U_{1H} = 10$  кВ;  $U_{2H} = 0,4$  кВ;  $u_k = 5,5$  %;  $P_k = 10,8$  кВт;  $P_{н.х} = 1,9$  кВт;  $I_{н.х} = 1,2$  %.

Комунально-побутове навантаження складають житла з газовими плитами.

Максимальна температура в цеху в жаркі дні може досягати 30 °С.

Сумарне початкове значення періодичного складника струму трифазного КЗ на стороні 10 кВ трансформатора складає  $I_{к.вн} = 10,7$  кА. Питомі опори шинопроводу, що з'єднує трансформатор з шинами щита низької напруги:  $r_{ш.о} = 0,06$  мОм/м;  $x_{ш.о} = 0,125$  мОм/м. Довжина шинопроводу 5 м.

Опір болтових контактних з'єднань:  $r_{\text{БК}} = 0,003 \text{ мОм}$  на одне з'єднання.

Опори трансформаторів струму:  $TA1$ :  $r_{TA1} = 0,01 \text{ мОм}$ ,  $x_{TA1} = 0,01 \text{ мОм}$ ;  $TA2$ :  $r_{TA2} = 0,02 \text{ мОм}$ ,  $x_{TA2} = 0,02 \text{ мОм}$ .

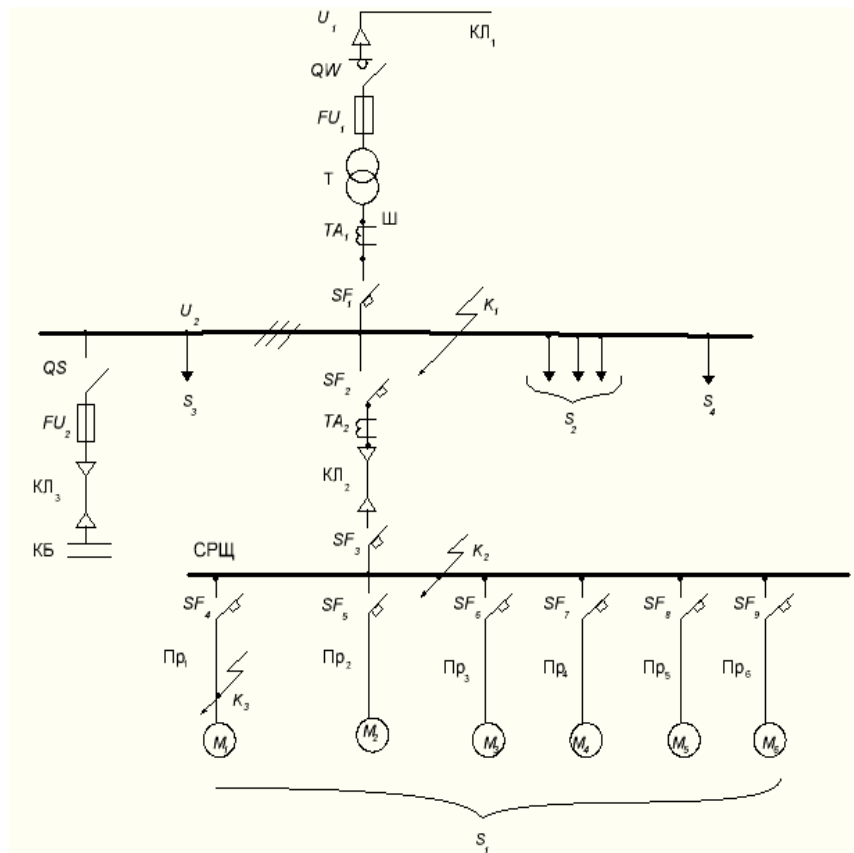


Рис. 1.1. Схема електропостачання

Таблиця 1.1. Дані електроприймачів і ділянки електропостачальної системи

Параметри	Значення параметрів		
Навантаження $S1$ : електродвигуни асинхронні з короткозамкненим ротором (сталій характер навантаження)	Одинична номінальна потужність $P_{н,i}$ , кВт	$M_1-M_3$	60
		$M_4-M_6$	30
	Коефіцієнт потужності $\cos\phi_i$ , в. о.		0,85
	Коефіцієнт корисної дії $\eta_i$ , в. о.		0,9
	Коефіцієнт використання $K_{в,i}$ , в. о.		0,8
Навантаження $S2$ : електродвигуни асинхронні з фазним ротором зі змінним характером навантаження	Кількість $N_i$ і номінальна потужність $P_{н,i}$ , кВт		$4 \times 40$
	Коефіцієнт використання $K_{в,i}$ , в. о.		0,8
	Коефіцієнт корисної дії $\eta_i$ , в. о.		0,87
	Коефіцієнт потужності $\cos\phi_i$ , в. о.		0,88
Навантаження $S3$ : освітлювальне промислове навантаження	Загальна номінальна потужність $P_{н,о}$ , кВт		44,215
	Коефіцієнт потужності $\cos\phi_o$ , в. о.		0,33
	Коефіцієнт попиту $K_{п,о}$		0,9
Навантаження $S4$ : комунально-побутове навантаження	Розрахункова активна потужність $P_{р,к-п}$ , кВт		285,246
	Розрахункова реактивна потужність $Q_{р,к-п}$ , кВ·Ар		77,183
Номінальні напруги електричних мереж, кВ	$U_{н.1}$		10
	$U_{н.2}$		0,38



### Довідкові дані:

Довідкові дані наведено в таблицях Д1.1–Д1.11.

Таблиця Д1.1. Значення розрахункових коефіцієнтів  $K_p$  активної потужності

$\frac{n_e}{K_B}$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0,5	1,60	1,60	1,34	1,21	1,15	1,13	1,10	1,08	1,07	1,05	1,04	1,03	1,01	1,00
0,6	1,33	1,33	1,22	1,12	1,08	1,06	1,04	1,02	1,01	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,7	1,14	1,14	1,14	1,06	1,03	1,01	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,8	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Таблиця Д1.2. Коефіцієнти суміщення максимумів навантажень

Час максимуму навантажень	Коефіцієнти суміщення максимумів навантажень міських електромереж та промислових підприємств $K_{см.м-п}$ в залежності від відношення розрахункових навантажень підприємств і міської електромережі у відсотках						
	20	60	100	150	200	300	400
Ранок	$\frac{0,75}{0,6}$	$\frac{0,8}{0,7}$	$\frac{0,85}{0,75}$	$\frac{0,88}{0,8}$	$\frac{0,9}{0,85}$	$\frac{0,92}{0,87}$	$\frac{0,95}{0,9}$
Вечір	$\frac{0,85}{0,9}$	$\frac{0,65}{0,85}$	$\frac{0,55}{0,8}$	$\frac{0,45}{0,76}$	$\frac{0,4}{0,75}$	$\frac{0,3}{0,7}$	$\frac{0,3}{0,7}$
<b>Примітка:</b> У чисельнику наведено коефіцієнти для житлової забудови з електроплитами, а у знаменнику – з газовими плитами.							

*Таблиця Д1.3. Комплектні конденсаторні установки номінальною напругою 400 В ЗАТ "Сілкон-Квар", м. Київ*

Тип та номінальні дані	Потужність, кВт·Ар	Ступінь регулювання, кВт·Ар	Відпускна ціна, грн	Габаритні розміри, мм
УКРП-0.4-45-5УЗ	45	5	5940	800 × 600 × 300
УКРП-0.4-50-10УЗ	50	10	6318	800 × 600 × 300
УКРП-0.4-55-5УЗ	55	5	6480	800 × 600 × 300
УКРП-0.4-60-10УЗ	60	10	6588	800 × 600 × 300
УКРП-0.4-70-10УЗ	70	10	7128	800 × 600 × 300
УКРП-0.4-80-10УЗ	80	10	8100	800 × 600 × 300
УКРП-0,4-90-10УЗ	90	10	9720	1200 × 600 × 300
УКРП-0,4-100-10УЗ	100	10	12420	1200 × 600 × 300

*Таблиця Д1.4. Допустимий тривалий струм для кабелів напругою до 1000 В з алюмінієвими жилами з гумовою чи пластмасовою ізоляцією у свинцевій, полівінілхлоридній і гумовій оболонках, броньованих і неброньованих*

Переріз струмопровідної жили, мм <sup>2</sup>	Струм, А, для кабелів				
	одножильних	двожильних		трижильних	
	у разі прокладання				
	у повітрі	у повітрі	у землі	у повітрі	у землі
70	210	165	245	140	210
95	250	200	295	170	255
120	295	230	340	200	295
150	340	270	390	235	335
185	390	310	440	270	385
240	465	-	-	-	-
<b>Примітка.</b> Допустимі тривалі струми для чотирижильних кабелів з пластмасовою ізоляцією з напругою до 1000 В можуть вибиратися з цієї таблиці, дані якої взяті з таблиці 3.7 ПУЕ, як для трижильних кабелів, але з поправочним коефіцієнтом 0.92.					

*Таблиця Д1.5. Поправочні коефіцієнти на струми для кабелів, неізольованих та ізольованих проводів і шин залежно від температури землі й повітря*

Умовна температура середовища, °С	Нормована температура жил, °С	Поправочні коефіцієнти на струми за розрахунковою температурою середовища, °С									
		-5 і нижче	0	+5	+10	+15	+20	+25	+30	+35	+40
15	80	1,14	1,11	1,08	1,04	1,00	0,96	0,92	0,88	0,83	0,78
25	80	1,24	1,20	1,17	1,13	1,09	1,04	1,00	0,95	0,90	0,85
25	70	1,29	1,24	1,20	1,15	1,11	1,05	1,00	0,94	0,88	0,81
15	65	1,18	1,14	1,10	1,05	1,00	0,95	0,89	0,84	0,77	0,71
25	65	1,32	1,27	1,22	1,17	1,12	1,06	1,00	0,94	0,87	0,79
15	60	1,20	1,15	1,12	1,06	1,00	0,94	0,88	0,82	0,75	0,64
25	60	1,36	1,31	1,25	1,20	1,13	1,07	1,00	0,93	0,85	0,76

Таблиця ДІ.6. Допустимий тривалий струм для проводів з гумовою і полівінілхлоридною ізоляцією з алюмінієвими жилами

Переріз струмо- відної жили, мм <sup>2</sup>	Струм, А, для проводів, що прокладені					
	Відкрито	В одній трубі				
		двох одножилъ- них	трьох одножилъ- них	чотирьох одножилъних	одного двожилъного	одного трижилъного
16	75	60	60	55	60	55
25	105	85	80	70	75	65
35	130	100	95	85	95	75
50	165	140	130	120	125	105
70	210	175	165	140	150	135

Таблиця ДІ.7. Значення питомих опорів проводів і кабелів

Переріз струмо- відної жили, мм <sup>2</sup>	Активний опір жили за 20 °С, мОм/м		Індуктивний опір, мОм/м					
	алюмінієвої	мідної	кабель із поясною паперовою ізоляцією напругою, кВ					три проводи в трубі та кабель із гумовою чи полі- вініл- хлорид- ною ізоляцією
			1	6	10	20	35	
25	1,25	0,74	0,0662	0,091	0,099	0,135	-	0,091
35	0,894	0,53	0,0637	0,087	0,095	0,129	-	0,088
50	0,625	0,37	0,0625	0,083	0,090	0,119	-	0,085
70	0,447	0,265	0,0612	0,080	0,086	0,116	0Д37	0,082
95	0,329	0,195	0,0602	0,078	0,083	0,110	0,126	0,081
120	0,261	0,154	0,0602	0,076	0,081	0,107	0,120	0,080
150	0,208	0,124	0,0596	0,074	0,079	0,104	0,116	0,079
185	0,169	0,100	0,0596	0,073	0,077	0,101	0,113	0,078
240	0,130	0,077	0,0587	0,071	0,071	-	-	0,077

Таблиця ДІ.8. Шафи навісні розподільні для силових установок змінного струму ПР8501-1000

Номери схем шаф з номінальним струмом 630 А				Тип і кількість триполюсних вимикачів на лініях, які відходять	
1	2	3	4	5	6
Без автоматичних вимикачів на вводі з затискачами	з автоматичними вимикачами на вводі			ВА51-31	ВА51-35
	ВА51-39	ВА55-39	ВА56-39	з розщеплювачами на струм, А	
				16–100	100–250
149	090	115	140	6	-
150	091	116	141	8	-

Закінчення таблиці ДІ.8

1	2	3	4	5	6
151	092	117	142	10	-
152	093	118	143	12	-
153	094	119	144	-	4
154	095	120	145	2	2
155	096	121	146	4	2
156	097	122	147	6	2
157	098	123	148	8	2

Таблиця ДІ.9. Шафи силові розподільні серії ШР11 із плавкими запобіжниками ПН2 і (або) НПН2-60

Позначення	Рубильник на вводі				Кількість триполюсних запобіжників, їх номінальний струм $I_{\text{ном}}$ , А на відгалужувальних лініях
	тип	номінальний струм $I_{\text{ном}}$ , А за ступенем захисту і кліматичною категорією			
		IP22, УЗ	IP54		
			У2	Т2	
ШР11-73701 ШР11-73 702 ШР11-73 703	P18-353	250	200	190	5×60 5×100 2×60 + 3×100
ШР11-3704(12) ШР1173705(13) ШР1173706(14)	P18-373	400	320	300	8×60 8×100 8×250
ШР11-73707 ШР11-73708					3×100 + 2×250 5×250
ШР11-3709(15) ШР1173710(16) ШР11737011(17)					4×60 + 4×100 2×60 + 4×100 + 2×250 6×100 + 2×250

Таблиця ДІ.10. Триполюсні автоматичні вимикачі ВА55 з номінальним струмом 1000, 1600 А напругою до 660 В

Тип	Номінальний струм автоматичного вимикача $I_{\text{ном.а}}$ , А	Регульовані уставки напівпровідникового розцеплювача				$\frac{I_{\text{с.п}}}{I_{\text{ном.р}}}$	ВГКЗ у колі 380 В, діюче значення, кА
		$\frac{I_{\text{ном.р}}}{I_{\text{ном.а}}}$	$\frac{I_{\text{с.в}}}{I_{\text{ном.р}}}$	$t_{\text{с.в}}$ , с	$t_{\text{с.п}}$ , с, за струмом $6 \cdot I_{\text{ном.р}}$		
ВА55-41	1000	0,63; 0,8; 1,0	2;3;5;7	0,1; 0,2; 0,3	4; 8; 16	1,25	60
ВА55-43	1600						85
<b>Примітки:</b> $I_{\text{с.в}}$ — струм спрацьовування відсічки; $I_{\text{с.п}}$ — струм спрацьовування перевантаження теплового розцеплювача; $t_{\text{с.в}}$ — час спрацьовування відсічки; $t_{\text{с.п}}$ — час спрацьовування перевантаження; ВГКЗ — вимикаюча гранична комутаційна здатність.							

Таблиця Д1.11. Значення опорів автоматичних вимикачів

$I_{\text{ном}}, \text{A}$	$r_{\text{а}}, \text{МОм}$	$x_{\text{а}}, \text{МОм}$	$I_{\text{ном}}, \text{A}$	$r_{\text{а}}, \text{МОм}$	$x_{\text{а}}, \text{МОм}$
50	7	4,5	630	0,41	0,13
70	3,5	2	1000	0,25	0,1
100	2,15	1,2	1600	0,14	0,08
160	1,3	0,7	2500	0,13	0,07
250	1,1	0,5	4000	0,1	0,05
400	0,65	0,17	-	-	-
<b>Примітка.</b> Наведені значення опорів містять в собі опори струмових котушок розцеплювачів і перехідні опори рухливих контактів					

### Рішення 1:

1. Знаходимо розрахункові навантаження.

1.1. Знаходимо розрахункові навантаження першої групи електродвигунів (ЕД) на шинах СРЩ методом розрахункових коефіцієнтів (модифікований метод упорядкованих діаграм).

Розраховуємо так звані «проміжні» навантаження активної  $P_{\text{пр1}}$  і реактивної  $Q_{\text{пр1}}$  потужностей за виразами

$$P_{\text{пр1}} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{\text{н.і}} K_{\text{в.і}}}{\eta_i} ; \quad (1)$$

$$Q_{\text{пр1}} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{\text{н.і}} K_{\text{в.і}} \text{tg} \varphi_i}{\eta_i} , \quad (2)$$

де  $P_{\text{н.і}}$  – номінальна потужність  $i$ -го ЕД;

$K_{\text{в.і}}$  – коефіцієнт використання  $i$ -го ЕД;

$\text{tg} \varphi_i$  – коефіцієнт реактивної потужності  $i$ -го ЕД;

$\eta_i$  – коефіцієнт корисної дії  $i$ -го ЕД (однаковий для всіх ЕД даної групи).

Одержуємо:

$$P_{\text{пр1}} = \frac{(3 \cdot 60 + 3 \cdot 30) 0,8}{0,9} = 240 \text{ кВт};$$

$$\text{tg} \varphi_1 = 0,62;$$

$$Q_{\text{пр.1}} = 240 \cdot 0,62 = 148,8 \text{ кВ} \cdot \text{Ар.}$$

Знаходимо ефективну кількість ЕП за точною формулою

$$n_{e1} = \frac{(\sum_{i=1}^n P_{н.і})^2}{\sum_{i=1}^n P_{н.і}^2}. \quad (3)$$

Маємо:

$$n_{e1} = \frac{(3 \cdot 60 + 3 \cdot 30)^2}{3 \cdot 60^2 + 3 \cdot 30^2} = \frac{72900}{13500} = 5,4 \text{ шт.}$$

Розраховуємо груповий коефіцієнт використання за виразом

$$K_{в1} = \frac{P_{np1}}{\sum_{i=1}^n P_{н.і.1}}. \quad (4)$$

Одержуємо:

$$K_{в1} = \frac{240}{270} = 0,889.$$

Знаходимо значення розрахункового коефіцієнта  $K_{p1}$  за даними таблиці Д1.1:  $K_{p1} = 1$ .

Знаходимо розрахункову активну потужність силових ЕП за виразом

$$P_{p.c1} = P_{np1} K_{p1}; \quad (5)$$

$$P_{p.c1} = 240 \cdot 1 = 240 \text{ кВт.}$$

Оскільки  $n_{e1} < 10$ , розрахункову реактивну потужність знаходимо за виразом

$$Q_{p.c1} = 1,1 Q_{np.1}; \quad (6)$$

$$Q_{p.c1} = 1,1 \cdot 148,8 = 163,68 \text{ кВ} \cdot \text{Ар.}$$

Знаходимо розрахункові повну потужність і струм:

$$S_{p.c1} = \sqrt{P_{p.c1}^2 + Q_{p.c1}^2}; \quad (7)$$

$$S_{p.c1} = \sqrt{240^2 + 163,68^2} = 290,502 \text{ кВ} \cdot \text{А};$$

$$I_{p.cl} = \frac{S_{p.cl}}{\sqrt{3}U}; \quad (8)$$

$$I_{p.cl} = \frac{290,502}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 441,385 \text{ A.}$$

1.2. Знаходимо розрахункові навантаження силових ЕП першої ( $S_1$ ) і другої ( $S_2$ ) груп аналогічно п.1.1.

Одержуємо:

- Проміжні навантаження – формули (1), (2):

$$P_{пр.с} = \frac{(3 \cdot 60 + 3 \cdot 30)0,8}{0,9} + \frac{4 \cdot 40 \cdot 0,8}{0,87} = 240 + 147,126 = 387,126 \text{ кВт};$$

$$\text{tg } \varphi_1 = 0,62; \text{ tg } \varphi_2 = 0,54;$$

$$Q_{пр.с} = 240 \cdot 0,62 + 147,126 \cdot 0,54 = 228,248 \text{ кВ} \cdot \text{Ар.}$$

- Ефективна кількість ЕП – формула (3):

$$n_{е.с} = \frac{(3 \cdot 60 + 3 \cdot 30 + 4 \cdot 40)^2}{3 \cdot 60^2 + 3 \cdot 30^2 + 4 \cdot 40^2} = \frac{184900}{19900} = 9,291 \text{ шт.}$$

- Розраховуємо груповий коефіцієнт використання – формула (4):

$$K_{в.с} = \frac{387,126}{430} = 0,90.$$

- Значення розрахункового коефіцієнта  $K_{р.с}$  за даними таблиці Д1.1:

$$K_{р.с} = 1.$$

- Розрахункові потужності:

активна – формула (5):

$$P_{р.с} = 387,126 \cdot 1 = 387,126 \text{ кВт};$$

реактивна – формула (6):

$$Q_{р.с} = 1,1 \cdot 228,248 = 251,073 \text{ кВ} \cdot \text{Ар};$$

повна – формула (7):

$$S_{р.с} = \sqrt{387,126^2 + 251,073^2} = 461,416 \text{ кВ} \cdot \text{А};$$

струм – формула (8):

$$I_{р.с} = \frac{461,416}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 701,069 \text{ А.}$$

1.3. Знаходимо розрахункові навантаження освітлювальних установок ( $S_3$ ) за виразами:

$$P_{p.o} = K_{п.о} P_{н.о}; Q_{p.o} = P_{p.o} \operatorname{tg} \varphi_o;$$

$$P_{p.o} = 0,9 \cdot 44,215 = 39,794 \text{ кВт}; Q_{p.o} = 39,794 \cdot 0,33 = 13,132 \text{ кВ}\cdot\text{Ар}.$$

1.4. Знаходимо розрахункові навантаження промислових споживачів (силових ЕП і освітлювальних установок):

$$P_{p.п} = P_{p.c} + P_{p.o}; P_{p.п} = 387,126 + 39,794 = 426,920 \text{ кВт};$$

$$Q_{p.п} = Q_{p.c} + Q_{p.o}; Q_{p.п} = 251,073 + 13,132 = 264,205 \text{ кВ}\cdot\text{Ар}.$$

1.5. Знаходимо розрахункові навантаження на шинах 0,4 кВ трансформатора (загальні промислові ( $P_{p.п}$ ,  $Q_{p.п}$ ) і комунально-побутові ( $S_4$ ) навантаження:

$$P_{p.0,4} = K_{см.м-п} (P_{p.к-п} + P_{p.п}); \quad (9)$$

$$Q_{p.0,4} = K_{см.м-п} (Q_{p.к-п} + Q_{p.п}); \quad (10)$$

де  $K_{см.м-п}$  – коефіцієнт суміщення максимумів електричних навантажень комунально-побутового і промислового, який знаходимо інтерполяцією за формулою

$$K_{см.м-п} = K_{см.м-п.1} + \frac{K_{см.м-п.2} - K_{см.м-п.1}}{k_2 - k_1} (k_2 - k_\phi), \quad (11)$$

таблицею Д1.5 і відношенням  $k_\phi = P_{p.п} / P_{p.к-п} = 426,920 / 285,246 = 1,497$ .

За даними таблиці Д1.5 для ранку маємо:

$$K_{см.м-п.1} = 0,75, \text{ якщо } k_1 = 1,0;$$

$$K_{см.м-п.2} = 0,8, \text{ якщо } k_2 = 1,50.$$

$$\text{Тоді: } K_{см.м-п} = 0,75 + \frac{0,8 - 0,75}{1,5 - 1} (1,497 - 1) = 0,8.$$

Згідно формул (9) і (10) знаходимо:

$$P_{p.0,4} = 0,8 (426,920 + 285,246) = 569,733 \text{ кВт};$$

$$Q_{p.0,4} = 0,8 (264,205 + 77,183) = 273,110 \text{ кВ}\cdot\text{Ар};$$

$$S_{p.0,4} = \sqrt{569,733^2 + 273,110^2} = 631,847 \text{ кВ}\cdot\text{А} - \text{формула (7);}$$



$$I_{p,0,4} = \frac{631,847}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 960,020 \text{ А} - \text{формула (8)}.$$

2. Вибираємо тип і номінальну потужність конденсаторної батареї (КБ) за умови бажаної компенсації реактивної потужності на шинах 0,4 кВ трансформатора.

Знаходимо величину коефіцієнта реактивної потужності  $\text{tg}\varphi_{0,4}$  на шинах 0,4 кВ трансформатора за формулою

$$\text{tg}\varphi_{0,4} = \frac{Q_{0,4}}{P_{0,4}}; \quad \text{tg}\varphi_{0,4} = \frac{273,110}{569,733} = 0,479.$$

Необхідну розрахункову потужність КБ знаходимо за виразом

$$Q_{\text{КБ,р}} = P(\text{tg}\varphi_{0,4} - \text{tg}\varphi_{0,4,б}),$$

де  $\text{tg}\varphi_{0,4,б} = 0,328$  – бажане значення коефіцієнта реактивної потужності за умови.

Маємо:

$$Q_{\text{КБ,р}} = 569,733 (0,479 - 0,328) = 86,030 \text{ кВ}\cdot\text{Ар}.$$

Виходячи з  $Q_{\text{КБ,р}} = 86,030 \text{ кВ}\cdot\text{Ар}$  та даних таблиці Д1.3, вибираємо КБ типу УКРП-0,4-90-10УЗ з номінальною потужністю 90 кВ·Ар.

3. Вибираємо перерізи кабелів та проводів.

- Переріз кабелю АВВГ-1 в повітрі для живлення СРЩ :

За даними таблиці Д1.4 і одержаним в п.1.1 значенням розрахункового струму  $I_p = 441,385 \text{ А}$  вибираємо попередньо за умовою допустимого нагрівання два кабелі перерізом  $4 \times 185 \text{ мм}^2$  згідно умови

$$I_{p1} \leq 2 \times 0,92 K_1 K_2 I_d, \quad (12)$$

де 0,92 – поправочний коефіцієнт на четверту жилу, оскільки в таблиці 1.5 наведено тривало допустимі струми для трижильних кабелів;

$K_1 = 0,94$  – поправочний коефіцієнт на температуру повітря (+30 °С за умовою) і допустимою температурою пластмасового кабелю +65 °С;

$K_2 = 1$  – поправочний коефіцієнт на два кабелі в повітрі;

$I_d = 270 \text{ А}$  – тривало допустимий струм для чотирижильного кабелю (таблиця Д1.4).

Маємо:  $441,385 \text{ А} < 2 \cdot 0,92 \cdot 0,94 \cdot 1 \cdot 270 \text{ А} = 466,992 \text{ А}$ .

- Проводи для живлення електродвигунів:

Знаходимо струми в лініях, що живлять ЕД за виразом

$$I_{\text{р.ЕД}} = \frac{P_{\text{н.ЕД}}}{\sqrt{3}U \cos \varphi \eta}; \quad (13)$$

$$I_{\text{р.ЕД1-3}} = \frac{40}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,85 \cdot 0,9} = 79,445 \text{ А};$$

$$I_{\text{р.ЕД4-6}} = \frac{30}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,85 \cdot 0,9} = 59,584 \text{ А}.$$

За таблицею Д1.6 вибираємо для живлення кожного з  $M_{1-3}$  4 проводи АПВ перерізом  $35 \text{ мм}^2$ , а кожного з  $M_{4-6}$  – 4 проводи АПВ перерізом  $25 \text{ мм}^2$ .

4. Вибираємо тип і номінальні дані апаратів СРЩ.

Виходячи з розрахункових струмів на вводі СРЩ  $I_{\text{р.с1}} = 441,385 \text{ А}$  і на відгалуженнях  $I_{\text{р.ЕД1-3}} = 79,445 \text{ А}$ ,  $I_{\text{р.ЕД4-6}} = 59,584 \text{ А}$  за таблицями Д1.8, Д1.9 вибираємо розподільну шафу ПР 8501-1000 зі схемою 090 з автоматичними вимикачами ВА 55-39 (номінальний струм 630 А) на вводі і ВА 51-31 (3 шт. з номінальним струмом 70 А і 3 шт. з номінальним струмом 100 А) на відгалуженнях.

5. Вибираємо автоматичний вимикач  $SF1$ .

Після встановлення КБ розрахунковий струм через трансформатор зменшиться:

$$S'_{\text{р.0,4}} = \sqrt{569,773^2 + (273,110 - 268)^2} = 569,796 \text{ кВ} \cdot \text{А} - \text{формула (7)};$$

$$I'_{\text{р.0,4}} = \frac{569,796}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 865,741 \text{ А} - \text{формула (8)}.$$

Виходячи з  $I'_{\text{р.0,4}} = 865,741 \text{ А}$  (п. 1.5), за таблицею Д1.10 вибираємо автоматичний вимикач ВА 55-41 з  $I_{\text{ном.а}} = 1000 \text{ А}$ .

6. Розраховуємо струми короткого замикання (КЗ) в точках  $K_1$ ,  $K_2$  (рис. 1.1).

За розрахунковою схемою (рис. 1.1) складемо заступну схему (рис 1.2).

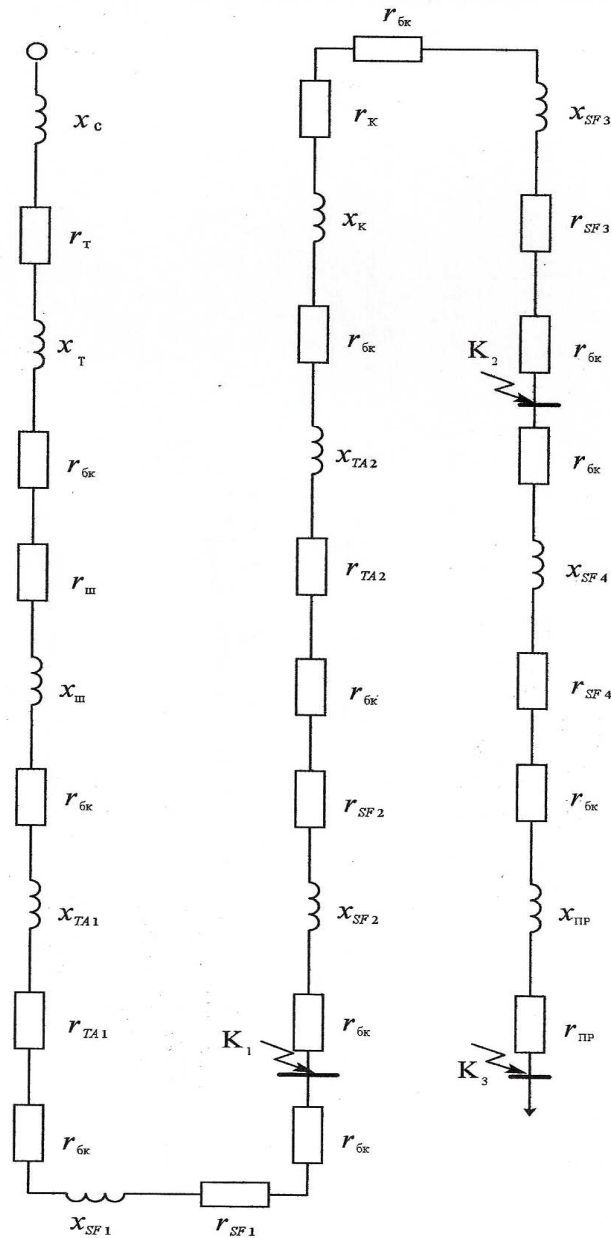


Рис. 1.2. Заступна схема

Розраховуємо опори елементів цієї схеми в іменованих одиницях за базисною напругою  $U_6 = 0,4 \text{ кВ}$ :

– система:

$$x_c = \frac{U_{\text{сер.вн}} \cdot 10^3}{\sqrt{3} I_{\text{к.вн}}} \left( \frac{U_{\text{сер.нн}}}{U_{\text{сер.вн}}} \right)^2, \quad (14)$$

де  $U_{\text{сер.нн}} = 0,4 \text{ кВ}$ ;  $U_{\text{сер.вн}} = 10,5 \text{ кВ}$ ;  $I_{\text{к.вн}} = 10,7 \text{ кА}$  – за умови;

$$x_c = \frac{10,5 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 10,7} \left( \frac{0,4}{10,5} \right)^2 = 0,822 \text{ мОм};$$

– трансформатор з  $S_{\text{н}} = 1000 \text{ кВ} \cdot \text{А}$ ;  $U_{1\text{н}} = 10 \text{ кВ}$ ;  $U_{2\text{н}} = 0,4 \text{ кВ}$ ;

$u_{\text{к}} = 5,5 \%$ ;  $P_{\text{к}} = 10,8 \text{ кВт}$  за умови:

$$r_{\text{тр}} = \frac{P_{\text{к}} (U_{\text{сер.нн}})^2 \cdot 10^6}{S_{\text{н}}^2}, \quad (15)$$

$$r_{\text{тр}} = \frac{10,8 \cdot 0,4^2 \cdot 10^6}{1000^2} = 1,719 \text{ мОм},$$

$$x_{\text{тр}} = \frac{(U_{\text{сер.нн}})^2 \cdot 10^4}{S_{\text{н}}} \sqrt{u_{\text{к}}^2 - \left( \frac{100 P_{\text{к}}}{S_{\text{н}}} \right)^2}, \quad (16)$$

$$x_{\text{тр}} = \frac{(0,4)^2 \cdot 10^4}{1000} \sqrt{5,5^2 - \left( \frac{100 \cdot 10,8}{1000} \right)^2} = 8,586 \text{ мОм};$$

– шинопровід з'єднання трансформатора зі щитом низької напруги згідно умови:

$$r_{\text{ш}} = r_{\text{ш.о}} l_{\text{ш}}; \quad r_{\text{ш}} = 0,06 \cdot 5 = 0,3 \text{ мОм},$$

$$x_{\text{ш}} = x_{\text{ш.о}} l_{\text{ш}}; \quad x_{\text{ш}} = 0,125 \cdot 5 = 0,875 \text{ мОм};$$

– кабельна лінія 2 АВВГ1– (4×185), що живить СРЩ і вибрана у розділі 3, довжиною 40 м (рис. 1.1) і питомими опорами за табл. Д1.7:

$$r_{\text{к}} = \frac{r_{0.\text{к}} l_{\text{к}}}{2}; \quad r_{\text{к}} = (0,169 \cdot 40) : 2 = 3,38 \text{ мОм},$$

$$x_{\text{к}} = \frac{x_{0.\text{к}} l_{\text{к}}}{2}; \quad x_{\text{к}} = (0,078 \cdot 40) : 2 = 1,56 \text{ мОм}.$$

– провід АПВ – 4(1×35), що вибраний в розділі 3 і живить двигун  $M_1$ , довжиною 15 м (рис. 1.1) і питомими опорами за табл. Д1.7:

$$r_{\text{пр}} = r_{\text{пр.о}} l_{\text{пр}}; \quad r_{\text{пр}} = 0,894 \cdot 15 = 13,410 \text{ мОм},$$

$$x_{\text{пр}} = x_{\text{пр.о}} l_{\text{пр}}; \quad x_{\text{пр}} = 0,088 \cdot 15 = 1,320 \text{ мОм};$$

– автоматичні вимикачі :

$$SF1: I_{н.а} = 1000 \text{ A}; r_{SF1} = 0,25 \text{ мОм}; x_{SF1} = 0,1 \text{ мОм};$$

$$SF2, SF3: I_{н.а} = 630 \text{ A}; r_{SF2, SF3} = 0,41 \text{ мОм}; x_{SF2, SF3} = 0,13 \text{ мОм};$$

$$SF4: I_{н.а} = 100 \text{ A}; r_{SF4} = 2,15 \text{ мОм}; x_{SF4} = 1,2 \text{ мОм};$$

– болтові контактні з'єднання:  $r_{бк} = 0,003 \text{ мОм}$  – на одне з'єднання за умови.

Визначаємо результуючі активний та реактивний опори короткозамкненого кола до точки  $K_1$ :

$$r_{\Sigma K_1} = r_c + r_{тр} + 4r_{бк} + r_{ш} + r_{TA1} + r_{SF1} ;$$

$$x_{\Sigma K_1} = x_c + x_{тр} + x_{ш} + x_{TA1} + x_{SF1} ;$$

$$r_{\Sigma K_1} = 0 + 1,719 + 4 \cdot 0,003 + 0,3 + 0,01 + 0,25 = 2,303 \text{ мОм};$$

$$x_{\Sigma K_1} = 0,822 + 8,586 + 0,875 + 0,01 + 0,1 = 10,393 \text{ мОм}.$$

Повний опір короткозамкненого кола до точки  $K_1$ :

$$z_{\Sigma K_1} = \sqrt{2,303^2 + 10,393^2} = 10,645 \text{ мОм}.$$

Початкове діюче значення періодичного складника повного струму трифазного КЗ  $I_{K_1}^{(3)}$  у точці  $K_1$ :

$$I_{K_1}^{(3)} = \frac{U_{\phi} \cdot 10^3}{\sqrt{3} z_{\Sigma K_1}} , \quad (17)$$

$$I_{K_1}^{(3)} = \frac{0,4 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 10,645} = 21,695 \text{ кА}.$$

Ударний струм КЗ у точці  $K_1$ :

$$i_{y.K_1} = K_{y.K_1} \sqrt{2} I_{K_1}^{(3)} , \quad (18)$$

$$i_{y.K_1} = 1,49 \cdot \sqrt{2} \cdot 21,695 = 45,58 \text{ кА},$$

де

$$K_{y.K_1} = 1 + \exp(-0,01 / T_{a.K_1}) ; \quad (19)$$

$$T_{a.K_1} = \frac{x_{\Sigma K_1}}{\omega r_{\Sigma K_1}} , \quad (20)$$

$$T_{a.K_1} = \frac{10,393}{314 \cdot 2,303} = 0,014$$

$$K_{y,K1} = 1 + \exp(-0,01 / 0,014) = 1,49.$$

Визначаємо результуючі активний та реактивний опори короткозамкнутого кола до точки  $K_2$ :

$$r_{\Sigma K_2} = r_{\Sigma 1} + 5r_{\text{ок}} + r_{SF2} + r_{TA2} + r_K + r_{SF3}, \quad (21)$$

$$r_{\Sigma K_2} = 2,303 + 5 \cdot 0,003 + 0,41 + 0,02 + 3,38 + 0,41 = 6,538 \text{ мОм},$$

$$x_{\Sigma K_2} = x_{\Sigma 1} + x_{SF2} + x_{TA2} + x_K + x_{SF3}, \quad (22)$$

$$x_{\Sigma K_2} = 10,393 + 0,13 + 0,02 + 1,56 + 0,13 = 12,233 \text{ мОм};$$

$$z_{\Sigma K_2} = \sqrt{6,538^2 + 12,233^2} = 13,871 \text{ мОм}.$$

Початкове діюче значення періодичного складника повного струму трифазного КЗ  $I_{K_2}^{(3)}$  у точці  $K_2$  – формула (17):

$$I_{K_2}^{(3)} = \frac{0,4 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 13,871} = 16,650 \text{ кА}.$$

Ударний струм КЗ у точці  $K_2$  – формули (18, 19, 20):

$$i_{y,K2} = 1,187 \cdot \sqrt{2} \cdot 16,65 = 27,867 \text{ кА},$$

де

$$T_{a,K2} = \frac{12,233}{314 \cdot 6,538} = 0,00596,$$

$$K_{y,K_2} = 1 + \exp(-0,01 / 0,00596) = 1,187.$$

### Відповідь:

1 Розрахункові навантаження складають:

– на шинах СРЩ:  $P_{p,c1} = 240 \text{ кВт}$ ;  $Q_{p,c1} = 163,68 \text{ кВ}\cdot\text{Ар}$ ;  $S_{p,c1} = 290,502 \text{ кВ}\cdot\text{А}$ ;  $I_{p,c1} = 441,385 \text{ А}$ .

– на шинах 0,4 кВ трансформатора:  $P_{p,0,4} = 569,733 \text{ кВт}$ ;  $Q_{p,0,4} = 273,110 \text{ кВ}\cdot\text{Ар}$ ;  $S_{p,0,4} = 631,847 \text{ кВ}\cdot\text{А}$ ;  $I_{p,0,4} = 960,020 \text{ А}$ .

2 Для компенсації реактивної потужності застосовуємо КБ типу УКРП-0,4-90-10УЗ потужністю  $Q_{БК} = 90 \text{ кВ}\cdot\text{Ар}$ .

3 Для живлення СРЩ вибираємо два кабелі АВВГ1- (4×185), для живлення ЕД потужністю 40 кВт вибираємо провід АПВ-4(1×35), а потужністю 30 кВт – АПВ-4(1×25).

4 Як СРЩ вибираємо розподільну шафу ПР 8501-1000 зі схемою 090 з автоматичними вимикачами ВА 55-39 (номінальний струм 630 А) на вводі і ВА 51-31 ( 3 шт. з номінальним струмом 70 А і 3 шт. з номінальним струмом 100 А) на відгалуженнях.

5 Як вимикач  $SF1$  вибираємо автоматичний вимикач ВА 55-41 з  $I_{\text{ном.а}} = 1000 \text{ А}$ .

6 Розраховані значення струмів короткого замикання наведено в таблиці.

Позначення струмів короткого замикання	Значення струмів КЗ в розрахункових точках	
	К1	К2
$I''^{(3)}, \text{ кА}$	21,695	16,650
$i_y, \text{ кА}$	45,58	27,867

## Завдання 2:

Накреслити на одному графіку залежність глибини проникнення електромагнітного поля в алюміній і сталь у печах опору прямої дії в залежності від температури (у діапазоні 0 – 1000 °С) у разі постійної частоти змінного струму. Пояснити, чому графіки мають такий вид.

## Рішення 2:

Ефективну глибину проникнення електромагнітного поля в метал розраховують за виразом

$$\delta = 503 \sqrt{\frac{\rho_{\text{гор}}}{\mu f}},$$

де  $\rho_{\text{гор}}$  – питомий опір металу за температурою нагрівання, Ом·м;

$\mu$  – відносна магнітна проникність металу, для заліза вона складає 40–70;

$f$  – частота змінного струму, Гц.

Величина  $\rho_{\text{гор}}$  дорівнює

$$\rho_{\text{гор}} = \rho_0 (1 + \alpha \tau).$$

де  $\alpha$  – температурний коефіцієнт опору, 1/°С; для більшості металів

$$\alpha = 0,004;$$

$\tau$  – температура нагрівання металу, °С.

З цих виразів втікає, що характеристики  $\delta = f(\tau)$  є поступово зростаючими. Для нульових значень температури питомий опір заліза приблизно у 3,5 рази більше алюмінію, але з врахуванням магнітної проникності сталі точка характеристики алюмінію буде у 3–4 рази вище, ніж для заліза. Характеристика  $\delta = f(\tau)$  для заліза буде трішки крутіше, ніж для алюмінію.

Залізо має точку Кюрі (770 °C), за якої втрачаються магнітні властивості заліза ( $\mu = 1$ ). Тому для цієї температури буде мати місце стрибок, в результаті чого з подальшим зростанням температури характеристика  $\delta = f(\tau)$  заліза піде вище, ніж характеристика для алюмінію.

У результаті отримаємо характеристики, наведені на рисунку 1.3.

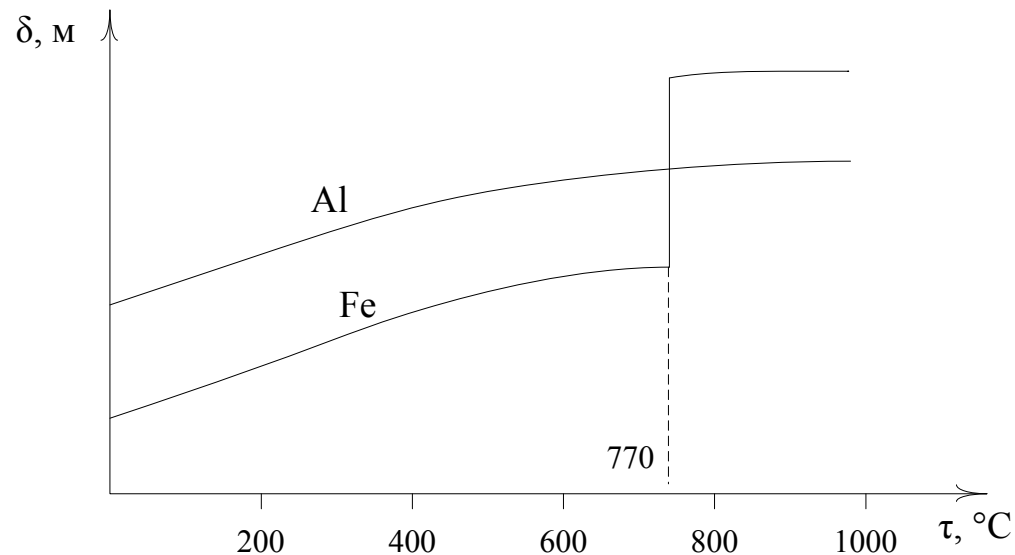


Рис. 1.3. Характеристика  $\delta = f(\tau)$

### Завдання 3:

Визначити межі інтервалу розподілу навантаження ( $a = P_{\min}$  і  $b = P_{\max}$ ), та ймовірність  $p$  перебування значень навантаження  $P$  у інтервалі, що складає ( $250 \text{ кВт} \leq P \leq 400 \text{ кВт}$ ).



**Вихідні дані:**

Випадкова величина навантаження групи споживачів розподілена рівномірно з математичним сподіванням  $m_P = 300$  кВт та середньоквадратичним відхиленням  $\sigma_P = 80$  кВт.

**Рішення 3:**

У разі рівномірного розподілу математичне сподівання та середньоквадратичне відхилення розраховують за виразами:

$$m_P = (a + b) / 2, \quad (23)$$

$$\sigma_P^2 = (b - a)^2 / 12. \quad (24)$$

Вирішуємо зворотню задачу – знаходимо невідомі межі інтервалу рівномірного розподілу навантаження за заданими параметрами розподілу. З рівняння (23) одержуємо:

$$(a + b) = 2m_P = 600 \text{ кВт}; b = 600 - a.$$

Підставивши одержаний вираз для  $b$  в рівняння (24), маємо:

$$(600 - 2a)^2 / 12 = 80^2 \text{ кВт}^2; (600 - 2a) = 277,13 \text{ кВт};$$

$$a = P_{1.\min} = 161,44 \text{ кВт}; b = P_{1.\max} = 438,6 \text{ кВт}.$$

Імовірність  $p$  перебування значень навантаження  $P$  в інтервалі  $(250 \text{ кВт} \leq P \leq 400 \text{ кВт})$ , де  $P'_{2.\min} = 250 \text{ кВт}$ ,  $P'_{2.\max} = 400 \text{ кВт}$ , у разі рівномірного розподілу розраховуємо за виразом

$$p(P'_{2.\min} \leq P \leq P'_{2.\max}) = (P'_{2.\max} - P'_{2.\min}) / (P_{1.\max} - P_{1.\min});$$

$$p(250 \text{ кВт} \leq P \leq 400 \text{ кВт}) = (400 - 250) / (438,6 - 161,4) = 0,541.$$

**Відповідь:**

Межі інтервалу рівномірного розподілу навантаження:

$$a = P_{1.\min} = 161,4 \text{ кВт}, b = P_{1.\max} = 438,6 \text{ кВт}.$$

$$p(250 \text{ кВт} \leq P \leq 400 \text{ кВт}) = 0,541.$$

## БІЛЕТ 2

### Завдання 1:

- 1 Визначити розрахункове навантаження трансформаторної підстанції ТП1, від якої отримує живлення цех промислового підприємства (рис. 2.1). Дані, необхідні для розрахунків, наведено у таблиці 2.1.
- 2 Вибрати і перевірити на термічну та електродинамічну стійкості вимикач навантаження ВН з заземлюючими ножами, що встановлений за запобіжниками, на стороні високої напруги трансформатора ТП1. На приєднанні центра живлення (ЦЖ) до системи С встановлений вимикач В типу ВВУ-35А-40/2000У1 (рис. 2.1). У розрахунках прийняти ударний коефіцієнт  $K_y = 1,8$ , сталу часу затухання аперіодичного складової струму короткого замикання (КЗ)  $T_a = 0,01$  с, розрахунковий час КЗ  $t_{\text{відк}} = 0,5$  с.
- 3 Вибрати переріз кабелю типу АВВГ-1, що живить будівлі 1, 2, 3 та 4 (між ТП2 та ТП3) (рис. 2.1). Дані, необхідні для розрахунків, наведено у таблицях 2.2 та 2.3. Кабель прокладено у землі, температура навколишнього середовища складає  $+ 15$  °С, початковий коефіцієнт завантаження складає 0,8, тривалість перевантаження – 3 години.
- 4 Перевірити допустимість навантаження трансформатора ТП3 у нормальному та післяаварійному режимах (у разі виходу з ладу трансформатора ТП2). Дані, необхідні для розрахунків, наведено у таблиці 2.2. Допустиме перевантаження трансформатора у післяаварійному режимі складає 40 %.
- 5 Розрахувати річні втрати енергії у трансформаторі 35/10 кВ та лінії 35 кВ методом середніх навантажень одним із способів: із використанням різних виразів для знаходження коефіцієнта форми графіка електричних навантажень. Дані, необхідні для розрахунків, наведено у таблицях 2.4, 2.5 та 2.6 відповідно.

### Вихідні дані:

Вихідні дані надано у таблицях 2.1 – 2.6 та частково на рис. 2.1.

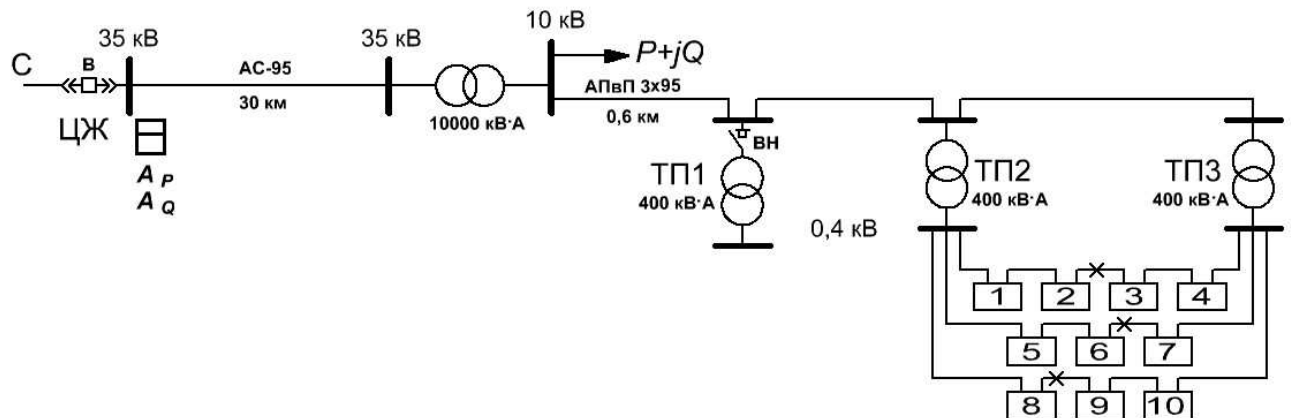


Рис. 2.1. Схема електропостачання

Таблиця 2.1. Дані споживачів, що отримують живлення від трансформаторної підстанції ТП1

Силовий пункт або щит освітлення	Об'єкт	Параметри	Значення параметрів
1	2	3	4
СП1	Вентилятор витяжний	Кількість $n$ , шт	3
		Номинальна потужність $P_n$ , кВт	20
		Коефіцієнт використання $K_B$	0,20
		Коефіцієнт потужності $\cos\phi$	0,80
	Конвеєр	Кількість $n$ , шт	1
		Номинальна потужність $P_n$ , кВт	10,5
		Коефіцієнт використання $K_B$	0,40
		Коефіцієнт потужності $\cos\phi$	0,70
	Повітронагрівач	Кількість $n$ , шт	5
		Номинальна потужність $P_n$ , кВт	18
		Коефіцієнт використання $K_B$	0,80
		Коефіцієнт потужності $\cos\phi$	0,92
	Полірувальний станок	Кількість $n$ , шт	5
		Номинальна потужність $P_n$ , кВт	22
		Коефіцієнт використання $K_B$	0,15
		Коефіцієнт потужності $\cos\phi$	0,50
	Шліфувальний станок	Кількість $n$ , шт	10
		Номинальна потужність $P_n$ , кВт	10
		Коефіцієнт використання $K_B$	0,25
		Коефіцієнт потужності $\cos\phi$	0,50
СП2	Шліфувальний станок	Кількість $n$ , шт	8
		Номинальна потужність $P_n$ , кВт	12
		Коефіцієнт використання $K_B$	0,25
		Коефіцієнт потужності $\cos\phi$	0,50

Закінчення таблиці 2.1

1	2	3	4
СП2	Шліфувальний станок	Кількість $n$ , шт	10
		Номінальна потужність $P_n$ , кВт	4
		Коефіцієнт використання $K_b$	0,25
		Коефіцієнт потужності $\cos\varphi$	0,50
	Фрезерний станок	Кількість $n$ , шт	12
		Номінальна потужність $P_n$ , кВт	3,6
		Коефіцієнт використання $K_b$	0,30
		Коефіцієнт потужності $\cos\varphi$	0,70
	Механічний прес	Кількість $n$ , шт	6
		Номінальна потужність $P_n$ , кВт	24
		Коефіцієнт використання $K_b$	0,30
		Коефіцієнт потужності $\cos$	0,70
ЩО	Механічний прес	Кількість $n$ , шт	2
		Номінальна потужність $P_n$ , кВт	28
		Коефіцієнт використання $K_b$	0,20
		Коефіцієнт потужності $\cos$	0,85
	Токарний станок	Кількість $n$ , шт.	16
		Номінальна потужність $P_n$ , кВт	4
		Коефіцієнт використання $K_b$	0,25
		Коефіцієнт потужності $\cos\varphi$	0,60
	Освітлювальні установки	Загальна площа цеху $F$ , м <sup>2</sup>	5000
		Питоме навантаження $P_{п.о.}$ , кВт на м <sup>2</sup>	0,025
		Коефіцієнт попиту $K_{п.о.}$	0,95
		Коефіцієнт потужності $\cos\varphi_o$	0,95

Таблиця 2.2. Перелік електроприймачів, що отримують живлення від трансформаторних підстанцій ТП2 та ТП3

Номера будівель	Об'єкт	Параметри	Значення параметрів
1, 4, 9	Житловий будинок із плитами на природному газі без побутових кондиціонерів повітря	Кількість будинків	3
		Кількість поверхів	5
		Кількість квартир	40
2	Загальноосвітня школа з електрифікованою їдальнею та спортивним залом	Кількість учнів $n_y$	400
3	Частково електрифіковане кафе	Кількість посадочних місць $n_o$	50
5, 10	Житловий будинок із плитами на природному газі без побутових кондиціонерів повітря	Кількість будинків	2
		Кількість поверхів	9
		Кількість секції	3
		Кількість ліфтів на секцію (номінальна потужність ліфту $P_{н.л.}$ , кВт)	1 пасажирський (6,5)
		Кількість квартир	108
6	Дитячий садок із електрифікованим харчовим блоком	Кількість дітей $n_d$	80

Закінчення таблиці 2.2

1	2	3	4
7	Двозмінний універсам без кондиціонування повітря	Загальна площа $n_y$ , м <sup>2</sup>	600
8	Житловий будинок із електроплитами без побутових кондиціонерів повітря	Кількість будинків	1
		Кількість поверхів	12
		Кількість секції	2
		Кількість ліфтів на секцію (номінальна потужність ліфту $P_{н.л}$ , кВт)	1 пасажирський (6,5) та 1 вантажний (9)
		Кількість квартир	72

Таблиця 2. 3. Довжина ділянок лінії, що живить будівлі 1, 2, 3 та 4 (між ТП2 та ТП3)

Найменування ділянки лінії	Значення параметра
Довжина лінії між ТП2 та житловим будинком (будівля 1) $L_{ТП2-ж.б}$ , м	70
Довжина лінії між житловим будинком (будівля 1) та школою (будівля 2) $L_{ж.б-ш}$ , м	100
Довжина лінії між школою (будівля 2) та кафе (будівля 3) $L_{ш-к}$ , м	125
Довжина лінії між кафе (будівля 3) та житловим будинком (будівля 4) $L_{к-ж.б}$ , м	110
Довжина лінії між житловим будинком (будівля 4) та ТП3 $L_{ж.б-ТП3}$ , м	90

Таблиця 2.4. Параметри силового трансформатора ТМ-100000/35/10

Найменування параметра	Значення параметра
Номінальна потужність $S_n$ , кВ·А	10000
Номінальна напруга на високій стороні $U_{вн}$ , кВ	35
Номінальна напруга на низькій стороні $U_{нн}$ , кВ	10
Потужність короткого замикання $P_k$ , Вт	65
Потужність неробочого ходу $P_{нх}$ , Вт	14,5
Напруга короткого замикання $u_k$ , %	7,5
Струм неробочого ходу $I_{нх}$ , %	0,8

Таблиця 2.5. Параметри лінії АС-95 напругою 35 кВ

Найменування параметра	Значення параметра
Довжина лінії $L_{л}$ , км	30
Активний опір жил $r_0$ , Ом/км	0,33
Реактивний опір жил $x_0$ , Ом/км	0,41

*Таблиця 2.6.* Вихідні дані для розрахунку річних втрати електроенергії у трансформаторі та лінії

Найменування параметра	Значення параметра
Покази відпуску активної енергії по лінії за рік $A_p$ , кВт·год	46937000
Покази відпуску реактивної енергії по лінії за рік $A_Q$ , кВ·Ар·год	23412000
Кількість годин роботи трансформатора $T_b$ , год	8760
Кількість годин використання максимуму навантаження $T_{max}$ , год	4500

### Довідкові дані:

Довідкові дані надано у таблицях Д2.1 – Д2.16 та частково на рис. 2.1.

*Таблиця Д2.1.* Питомі розрахункові електричні навантаження жител 1-го виду

Споживачі електроенергії	Значення показника, кВт/житло, за кількості жител						
	24	40	60	100	200	400	600
1.1 рівня електрифікації I – в будинках з плитами на природному газі	1,65	1,31	1,14	1,00	0,87	0,66	0,60
1.2 рівня електрифікації II – в будинках з плитами на скрапленому газі та на твердому паливі	2,15	1,70	1,48	1,30	1,12	0,96	0,86
1.3 рівня електрифікації III – в будинках з електроплитами потужністю до 8,5 кВт включно	2,72	2,35	2,10	1,73	1,38	1,31	1,19
<b>Примітка.</b> Питомі розрахункові навантаження для кількості жител, не зазначеної у таблиці, визначаються інтерполяцією.							

*Таблиця Д2.2.* Коефіцієнти попиту для ліфтових установок

Кількість ліфтових установок	$K_{п.л}$ для будинків заввишки	
	до 12 поверхів	12 і більше поверхів
2-3	0,80	0,90
4-5	0,70	0,80
6	0,65	0,75
10	0,50	0,60
20	0,40	0,50
25 і більше	0,35	0,40
<b>Примітка.</b> Коефіцієнт попиту у разі кількості ліфтових установок, не вказаної в таблиці, визначається інтерполяцією.		

Таблиця Д2.3. Значення коефіцієнтів потужності ( $\cos\varphi$ ) і реактивного навантаження ( $\tan\varphi$ ) житлових будинків

Лінія живлення	Розрахунковий коефіцієнт	
	потужності $\cos\varphi$	реактивного навантаження $\tan\varphi$
Квартири з електричними плитами та без побутових кондиціонерів повітря	0,98	0,20
Квартири з електричними плитами і побутовими кондиціонерами повітря	0,93	0,40
Квартири з плитами на природному, зрідженому газі, на твердому паливі	0,96	0,29
Квартири з плитами на природному, зрідженому газі, твердому паливі та з побутовими кондиціонерами повітря	0,92	0,43
Ліфти	0,65	1,17

Таблиця Д2.4. Орієнтовні питомі електричні навантаження та розрахункові коефіцієнти будинків та споруд (приміщень) громадського призначення

Об'єкти будівництва	Одиниця вимірювання	Питоме навантаження	Розрахункові коефіцієнти	
			потужності $\cos\varphi$	реактивного навантаження $\tan\varphi$
1	2	3	4	5
Підприємства громадського харчування:	кВт на місце	1,03	0,98	0,20
а) повністю електрифіковані з кількістю посадочних місць до 500 включно;				
б) з кількістю місць понад 500 до 1000 включно;				
в) з кількістю місць понад 1000;				
г) частково електрифіковані (з плитами на газовому паливі) з кількістю місць до 500 включно;				
д) з кількістю місць понад 500 до 1000 включно;				
е) з кількістю місць понад 1000		0,60	0,95	0,33
Підприємства роздрібної торгівлі:	кВт на м <sup>2</sup> торгової зали	0,23	0,85	0,62
а) продовольчі без кондиціонування повітря;				
б) продовольчі з кондиціонуванням повітря;				
в) промтоварні без кондиціонування повітря;				
г) промтоварні з кондиціонуванням повітря;				
д) універсами без кондиціонування повітря;				
е) універсами з кондиціонуванням повітря		0,20	0,85	0,62
Загальноосвітні школи:	кВт на одного учня	0,25	0,95	0,33
а) з електрифікованими їдальнями та спортзалами;				
б) без електрифікованих їдалень, із спортзалами;				
в) з буфетами, без спортзалів;				
г) без буфетів і спортзалів		0,15	0,90	0,48

Закінчення таблиці Д2.4

1	2	3	4	5
Професійно-технічні навчальні заклади з їдальнями	кВт на одного учня	0,45	0,8-0,92	0,75-0,48
Дошкільні навчальні заклади:	кВт на місце	0,45	0,98	0,20
а) з електрифікованими харчоблоками;		0,20		
б) з газовими плитами				
Школи-інтернати	»	1,10	0,95	0,33
Будинки-інтернати для інвалідів та людей похилого віку	»	2,20	0,93	0,40

Таблиця Д2.5. Коефіцієнти участі в максимумі навантаження

Назва будівлі (приміщення) з найбільшим розрахунковим навантаженням	Житлові будинки з електроплитами	Житлові будинки з газовими плитами або на твердому паливі	Заклади громадського харчування - їдальні	Заклади громадського харчування – ресторани, кафе	Загальноосвітні школи, ПТУ	Торгові підприємства однозміні	Торгові підприємства півтора- та двозміні	Дошкільні навчальні заклади
Житлові будинки з електроплитами	-	0,9	0,6	0,7	0,4	0,6	0,8	0,4
Житлові будинки з газовими плитами або на твердому паливі	0,9	-	0,6	0,7	0,3	0,5	0,8	0,4
Підприємства громадського харчування (їдальні, ресторани, кафе)	0,4	0,4	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Школи, середні навчальні заклади, ПТУ, бібліотеки	0,5	0,4	0,8	0,6	0,7	0,8	0,8	0,8
Торгові підприємства одно-, півтора- та двозміні	0,5	0,4	0,8	0,6	0,7	0,8	0,8	0,8

Таблиця Д2.6. Коефіцієнти суміщення максимумів навантажень трансформаторів

Характеристика навантаження	Коефіцієнт суміщення максимумів навантажень трансформаторів залежно від їх кількості				
	2	3-5	6-10	11-20	20
Житлова забудова (70 % і більше - навантаження житлових будинків, до 30 % - навантаження громадських будівель).	0,9	0,85	0,8	0,75	0,7
Громадська забудова (70 % і більше - навантаження громадських будівель і до 30 % - навантаження житлових будинків).	0,9	0,75	0,7	0,65	0,6
Комунально-промислові зони (65 % і більше - навантаження промислових і громадських споруд і до 35 % - навантаження житлових будинків)	0,9	0,7	0,65	0,6	0,5



Таблиця Д2.7. Значення коефіцієнтів розрахункового навантаження  $K_p$  для живлячих мереж і розподільних шинопроводів напругою до 1 кВ

		Коефіцієнт використання $K_B$							
		0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
Ефективна кількість електроприймачів $n_e$	2	8	5,3	4	2,66	2	1,6	1,33	1,14
	3	4,52	3,2	2,55	1,9	1,56	1,41	1,28	1,14
	4	3,42	2,47	2	1,53	1,3	1,24	1,14	1,08
	5	2,84	2,1	1,78	1,34	1,16	1,15	1,08	1,03
	6	2,64	1,96	1,62	1,28	1,14	1,12	1,06	1,01
	7	2,5	1,86	1,54	1,25	1,12	1,1	1,04	1
	8	2,37	1,78	1,48	1,19	1,1	1,08	1,02	1
	9	2,26	1,7	1,43	1,16	1,08	1,07	1,01	1
	10	2,18	1,65	1,39	1,13	1,06	1,05	1	1
	11	2,1	1,6	1,35	1,1	1,05	1,04	1	1
	12	2,04	1,56	1,32	1,08	1,04	1,03	1	1
	13	1,98	1,52	1,29	1,06	1,03	1,02	1	1
	14	1,93	1,49	1,27	1,05	1,02	1,01	1	1
	15	1,9	1,46	1,25	1,03	1,01	1	1	1
	16	1,85	1,43	1,23	1,02	1	1	1	1
	17	1,81	1,4	1,2	1	1	1	1	1
	18	1,78	1,38	1,19	1	1	1	1	1
	19	1,75	1,36	1,17	1	1	1	1	1
	20	1,72	1,34	1,16	1	1	1	1	1
	21	1,7	1,33	1,15	1	1	1	1	1
	22	1,66	1,31	1,13	1	1	1	1	1
	23	1,65	1,29	1,12	1	1	1	1	1
	24	1,62	1,28	1,11	1	1	1	1	1
	25	1,6	1,27	1,1	1	1	1	1	1
	30	1,51	1,21	1,05	1	1	1	1	1
	35	1,44	1,16	1	1	1	1	1	1
	40	1,4	1,13	1	1	1	1	1	1
	45	1,35	1,1	1	1	1	1	1	1
	50	1,3	1,07	1	1	1	1	1	1
	60	1,25	1,03	1	1	1	1	1	1
	70	1,2	1	1	1	1	1	1	1
	80	1,16	1	1	1	1	1	1	1
	90	1,13	1	1	1	1	1	1	1
	100	1,1	1	1	1	1	1	1	1

Таблиця Д2.8. Значення коефіцієнтів розрахункового навантаження  $K_p$  для шин НН цехових трансформаторів і магістральних шинопроводів напругою до 1000 В

		Коефіцієнт використання $K_v$							
		0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
Ефективна кількість електродприймачів $n_e$	2	5,01	3,44	2,69	1,9	1,52	1,24	1,11	1
	3	2,94	2,17	1,8	1,42	1,23	1,14	1,08	1
	4	2,28	1,73	1,46	1,19	1,06	1,04	1	0,97
	5	1,31	1,12	1,02	1	0,98	0,96	0,94	0,93
	8	1,2	1	0,96	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91
	10	1,1	0,97	0,91	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
	25	0,8	0,8	0,8	0,85	0,85	0,85	0,9	0,9
	50	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,85	0,85
	Більше 50	0,65	0,65	0,65	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8

Таблиця Д2.9. Допустиме струмове навантаження та опори для трижильних кабелів марки АПвП з алюмінієвими жилами з ізоляцією з шитого поліетилену, з зовнішньою оболонкою з поліетилену або сополімера поліетилену, на номінальну напругу 10 кВ

Кількість та номінальний переріз жил, мм <sup>2</sup>	Опір жил, Ом/км		Допустиме струмове навантаження, А	
	Активний	Індуктивний	У повітрі	У землі
3×35	0,868	0,095	132	119
3×50	0,641	0,090	158	140
3×70	0,443	0,086	196	171
3×95	0,320	0,083	236	203
3×120	0,253	0,081	273	232
3×150	0,206	0,079	309	260
3×185	0,164	0,077	355	294
3×240	0,125	0,075	415	340

Таблиця Д2.10. Допустиме струмове навантаження та опори для чотирижильних кабелів марки АВВГ із алюмінієвими жилами з полівінілхлоридною ізоляцією та зовнішньою оболонкою, на номінальну напругу до 1000 В

Кількість та номінальний переріз жил, мм <sup>2</sup>	Опір жил, Ом/км		Допустиме струмове навантаження, А	
	Активний	Індуктивний	У землі	У повітрі
1	2	3	4	5
4×2,5	12,1	0,104	26	19
4×4	7,41	0,095	34	27
4×6	5,11	0,090	41	34
4×10	3,08	0,073	55	46
4×16	1,91	0,0675	72	62
4×25	1,20	0,0662	93	82

Закінчення таблиці Д2.10

1	2	3	4	5
4×35	0,868	0,0637	112	101
4×50	0,641	0,0625	137	126
4×70	0,443	0,0612	165	155
4×95	0,320	0,0602	197	190
4×120	0,253	0,0602	224	219
4×150	0,206	0,0596	254	254
4×185	0,164	0,0596	286	291
4×240	0,125	0,0587	330	343

Таблиця Д2.11. Технічні характеристики силових трансформаторів ТМ

Потужність $S_n$ , кВ·А	Номинальна напруга на високій стороні $U_{вн}$ , кВ	Номинальна напруга на низькій стороні $U_{нн}$ , кВ	Потужність короткого замикання $P_k$ , Вт	Потужність неробочого ходу $P_{н.х.}$ , Вт	Напруга короткого замикання $u_k$ , %	Струм неробочого ходу $I_{н.х.}$ , %
100	10	0,4	1970	305	4,5	2,2
160	10	0,4	2650	460	4,5	2
250	10	0,4	3700	560	4,5	1,9
400	10	0,4	5500	830	4,5	1,5
630	10	0,4	7600	1050	5,5	1,8
1000	10	0,4	10800	1550	5,5	1,2

Таблиця Д2.12. Коефіцієнт  $K_1$  для кабельних ліній

Умови прокладання	Температура									
	-5	0	+5	+10	+15	+20	+25	+30	+35	+40
У землі	1,13	1,1	1,06	1,03	1,0	0,97	0,93	0,89	0,86	0,82
У повітрі	1,21	1,18	1,14	1,11	1,07	1,04	1,0	0,96	0,92	0,88

Таблиця Д2.13. Коефіцієнт  $K_2$ , який враховує кількість паралельно працюючих кабелів

Відстань між кабелями, см	Кількість кабелів				
	2	3	4	5	6
10	0,9	0,85	0,8	0,78	0,75
20	0,92	0,87	0,84	0,82	0,81

Таблиця Д2.14. Коефіцієнт допустимого перевантаження  $K_3$  кабельної лінії у післяаварійному режимі

Початкове значення коефіцієнта завантаження	Спосіб прокладання	Тривалість перевантаження, год		
		1,5	3,0	6,0
0,6	У землі	1,5	1,35	1,25
	У повітрі	1,35	1,25	1,2
	У трубах	1,3	1,2	1,15
0,8	У землі	1,35	1,25	1,25
	У повітрі	1,3	1,2	1,2
	У трубах	1,2	1,15	1,1

**Таблиця Д2.15.** Технічні характеристики вимикачів навантаження ВНР та ВНА, ВНРп та ВНАп

Найменування параметра	Значення параметра	
	ВНР-10/400(630)-10з ВНРп-10/400(630)-10з ВНРп-10/400(630)-10зп	ВНА-10/400(630)-20з ВНАп-10/400(630)-20з ВНАп-10/400(630)-20зп
Номінальна напруга $U_n$ , кВ	10	10
Найбільша робоча напруга $U_p$ , кВ	12	12
Номінальний струм $I_n$ , А	400(630)	400(630)
Номінальний струм відключення за $\cos\varphi \geq 0,7$ , А	400(630)	400(630)
Найбільший струм (струм електродинамічної стійкості) $i_{дин}$ , кА	25	51
Номінальне початкове значення періодичного складника струму КЗ $I_{н.відк}$ , кА	10	20
Середньоквадратичне значення струму за час його протікання $t_T = 1$ с (струм термічної стійкості) $I_T$ , кА	10	20

**Таблиця Д2.16.** Комплектні конденсаторні установки номінальною напругою 400 В ЗАТ "Сілкон-Квар", м. Київ

Тип та номінальні дані	Потужність, кВ·Ар	Ступінь регулювання, кВ·Ар	Відпускна ціна, грн	Габаритні розміри, мм
УКРП-0.4-45-5УЗ	45	5	5940	800×600×300
УКРП-0.4-50-10УЗ	50	10	6318	800×600×300
УКРП-0.4-55-5УЗ	55	5	6480	800×600×300
УКРП-0.4-60-10УЗ	60	10	6588	800×600×300
УКРП-0.4-70-10УЗ	70	10	7128	800×600×300
УКРП-0.4-80-10УЗ	80	10	8100	800×600×300
УКРП-0,4-90-10УЗ	90	10	9720	1200×600×300
УКРП-0,4-100-10УЗ	100	10	12420	1200×600×300

### Рішення 1:

1 Визначаємо розрахункове навантаження трансформаторної підстанції ТП1, від якої отримує живлення цех промислового підприємства (розрахунок наведено у таблиці 2.7).

*Примітка:*  $\Delta P_{тр}$ ,  $\Delta Q_{тр}$  знайдено за наближеними формулами

$$\Delta P_{тр} = 0,02 S_{p,0,4}, \quad (1)$$

$$\Delta Q_{тр} = 0,1 S_{p,0,4}, \quad (2)$$

де  $S_{p,0,4}$  – розрахункова повна потужність на шинах 0,4 кВ ТП1.

Таблиця 2.7. Розрахунок електричних навантажень цеху

Вихідні дані										Проміжні потужності		$n_{p.e}$	$n_e$	$K_p$	Розрахункові потужності			Розрахунковий струм $I_p, A$
За умовою						Довідникові			$P_p, кВт$						$Q_p, кВт \cdot A_p$	$P_p, кВт$	$Q_p, кВт \cdot A_p$	
Найменування ЕП	$n, од$	Номінальна потужність, кВт				$\frac{P_{n.i.max}}{P_{n.i.min}}$	$K_B$	$\cos\varphi$		$tg\varphi$								
		$P_{n.i}$	$P_{n\sum}$	$P_{n.i.max}$	$P_{n.i.min}$													
Вентилятор витяжний	3	20,0	60,0				0,20	0,80	0,75	12,0	9,0							
Конвеєр	1	10,5	10,5				0,40	0,70	1,02	4,2	4,3							
Повітрянагрівач	5	18,0	90,0				0,80	0,92	0,43	72,0	31,0							
Полірувальний станок	5	22,0	110,0				0,15	0,50	1,73	16,5	28,5							
Шліфувальний станок	10	10,0	100,0				0,25	0,50	1,73	25,0	43,3							
Шліфувальний станок	12	6,0	72,0				0,25	0,50	1,73	18,0	31,1							
СП 1	36		442,5	22,0	6,0	3,67	0,334			147,7	147,2	40,2	36	1	147,7	147,2	208,5	317
Шліфувальний станок	8	12,0	96,0				0,25	0,50	1,73	24,0	41,5							
Шліфувальний станок	10	4,0	40,0				0,25	0,50	1,73	10,0	17,3							
Фрезерний станок	12	3,6	43,2				0,30	0,70	1,02	13,0	13,2							
Фрезерний станок	6	24,0	144,0				0,30	0,70	1,02	43,2	44,1							
Механічний прес	2	28,0	56,0				0,20	0,85	0,62	11,2	6,9							
Токарний станок	16	4,0	64,0				0,25	0,60	1,33	16,0	21,3							
СП 2	54		443,2	28,0	3,6	7,78	0,265			117,4	144,3	31,7	32	1	117,4	144,3	186,0	283
СП 1 + СП 2	90		885,7	28,0	3,6	7,78	0,299			265,1	291,5	63,3	63	0,7	185,4	203,9	275,7	419
ЩО															118,75	39,188	125,049	189,992
Шина 0,4 кВ ТП1								0,78							304,195	243,135	389,421	591,665
$\Delta P_{тр}, \Delta Q_{тр}$															7,788	38,942		
На боці 10 кВ ТП1															311,983	282,077	420,596	24,283

2 Вибираємо і перевіряємо на термічну та електродинамічну стійкості вимикач навантаження з заземлюючими ножами, що встановлений за запобіжниками на стороні високої напруги трансформатора ТП1.

2.1 Вибір ВН здійснюємо за напругою та значенням струму тривалого обваженого режиму

$$U_{\text{н}} \geq U_{\text{уст}}, I_{\text{н}} \geq I_{\text{обв}}, \quad (3)$$

де  $U_{\text{н}}$ ,  $I_{\text{н}}$  – паспортні номінальні значення відповідно напруги та струму вимикача навантаження;

$U_{\text{уст}}$  – номінальна напруга електроустановки, де встановлений за умовою завдання ВН (рис. 2.1),  $U_{\text{уст}} = 10$  кВ;

$I_{\text{обв}}$  – значення струму обваженого режиму, що визначається за умови врахування перевантажувальної здатності трансформатора на 40 %, за виразом

$$I_{\text{обв}} = 1,4 \frac{S_{\text{н.т}}}{\sqrt{3}U_{\text{уст}}}, \quad (4)$$

де  $S_{\text{н.т}}$  – номінальна потужність трансформатора.

Номінальна повна потужність трансформатора  $S_{\text{н.т}} = 400$  кВ·А вказана на рис. 2.1.

Маємо:

$$I_{\text{обв}} = 1,4 \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 10} = 32,332 \text{ А.}$$

Вибираємо з таблиці Д2.15 ВН типу ВНРп-10/400-10зп із заземлюючими ножами, що встановлений за запобіжниками («зп»), про що вказано в умові завдання та визначено у структурі умовних позначень.

З таблиці Д2.15 визначаємо паспортні дані вибраного ВН, що необхідні для його перевірки на термічну та електродинамічну стійкості:

- номінальна напруга  $U_{\text{н}} = 10$  кВ;
- номінальний струм  $I_{\text{н}} = 400$  А;
- максимальний струм (струм електродинамічної стійкості)  $i_{\text{дин}} = 25$  кА;

- номінальне початкове значення періодичного складника струму (струм відключення)  $I_{н.відк} = 10 \text{ кА}$ ;
- середньоквадратичне значення струму за час його протікання (струм термічної стійкості)  $I_T = 10 \text{ кА}$ ;
- час протікання струму (час короткого замикання)  $t_T = 1 \text{ с}$ .

## 2.2 Визначаємо розрахункові умови та розрахункову схему.

Для перевірки ВН розрахункові умови наступні:

- вид КЗ – трифазне;
- місце КЗ – за ВН або (що рівнозначно) перед ним (рис. 2.1);
- момент часу з початку КЗ, для якого розраховуємо струм:  $t = 0$  – (розраховуємо надперехідний струм КЗ).

Розрахункову схему представлено на рис. 2.2.

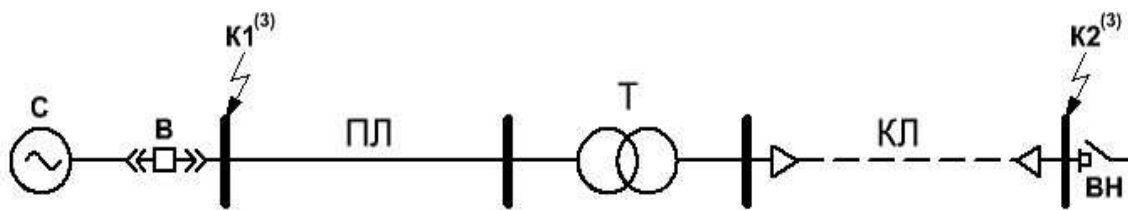


Рис. 2.2. Розрахункова схема.

Вихідні дані розрахункової схеми:

С:  $U_n = 10 \text{ кВ}$ ,  $I_{К1}^{(3)} = I_{відк} = 40 \text{ кА}$ ;

ПЛ: АС-95,  $L_{пл} = 30 \text{ км}$ ,  $r_0 = 0,33 \text{ Ом/км}$ ,  $x_0 = 0,41 \text{ Ом/км}$ ;

Т:  $S_n = 10000 \text{ кВ} \cdot \text{А}$ ,  $U_{ВН} = 35 \text{ кВ}$ ,  $U_{нн} = 10 \text{ кВ}$ ,  $u_k = 7,5 \%$ ,  $P_k = 65 \text{ Вт}$ ;

КЛ: АПвП-10 3×95,  $L_{кл} = 600 \text{ м}$ ,  $r_0 = 0,320 \text{ Ом/км}$ ,  $x_0 = 0,083 \text{ Ом/км}$ .

Система С, як джерело живлення, у вихідних даних задана типом вимикача В, що встановлений на приєднанні ЦЖ до С. Вважаємо, що за цим вимикачем надперехідний струм трифазного КЗ у точці  $K1^{(3)}$  дорівнює паспортному номінальному значенню струму відключення вимикача В:

$$I_{К1}^{(3)} = I_{відк} \quad (5)$$

Маємо:

$$I_{К1}^{(3)} = 40 \text{ кА}.$$

Вихідні дані для лінії, що живить трансформатор ТМ-10000/35/10, а також вихідні дані цього трансформатора надано у таблицях 2.4 та 2.5.

Через ВН буде протікати найбільший струм у режимі трифазного КЗ – точка К2<sup>(3)</sup> (рис. 2.2).

2.3 Складаємо схему заміщення (рис. 2.3).

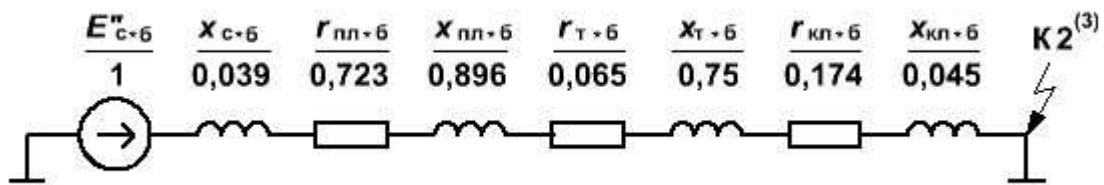


Рис. 2.3. Схема заміщення

Задаємо базисні умови  $S_б = 100 \text{ МВ} \cdot \text{А}$ , середні номінальні напруги  $U_{в.сер} = 37 \text{ кВ}$ ,  $U_{н.сер} = 10,5 \text{ кВ}$  та розраховуємо параметри елементів схеми заміщення у відносних базисних одиницях:

- система

$$x_{с*б} = \frac{U_{в.сер}}{\sqrt{3}I_{відк}} \left( \frac{U_{н.сер}}{U_{в.сер}} \right)^2 \frac{S_б}{U_б^2}, \quad (6)$$

$$x_{с*б} = \frac{37}{\sqrt{3} \cdot 40} \left( \frac{10,5}{37} \right)^2 \frac{100}{10,5^2} = 0,039;$$

- повітряна лінія

$$x_{пл*б} = x_0 L_{пл} \frac{S_б}{U_{в.сер}^2}, \quad (7)$$

$$r_{пл*б} = r_0 L_{пл} \frac{S_б}{U_{в.сер}^2}, \quad (8)$$

$$x_{пл*б} = 0,41 \cdot 30 \frac{100}{37^2} = 0,896,$$

$$r_{пл*б} = 0,33 \cdot 30 \frac{100}{37^2} = 0,723;$$



- трансформатор

$$x_{T*6} = \frac{u_K}{100} \frac{S_6}{S_{H.T}}, \quad (9)$$

$$r_{T*6} = \frac{P_K}{S_{H.T}} \frac{S_6}{S_{H.T}}, \quad (10)$$

$$x_{T*6} = \frac{7,5}{100} \frac{100}{10} = 0,750,$$

$$r_{T*6} = \frac{0,065}{10} \frac{100}{10} = 0,065;$$

- кабельна лінія

$$x_{кл*6} = x_0 L_{кл} \frac{S_6}{U_6^2}, \quad (11)$$

$$r_{кл*6} = r_0 L_{кл} \frac{S_6}{U_6^2}, \quad (12)$$

$$x_{кл*6} = 0,083 \cdot 0,6 \frac{100}{10,5^2} = 0,045,$$

$$r_{кл*6} = 0,32 \cdot 0,6 \frac{100}{10,5^2} = 0,174.$$

2.4 Розраховуємо результуючий опір схеми заміщення:

- індуктивний опір

$$x_{рез*6} = x_{с*6} + x_{пл*6} + x_{T*6} + x_{кл*6}, \quad (13)$$

$$x_{рез*6} = 0,039 + 0,896 + 0,750 + 0,045 = 1,730;$$

- активний опір

$$r_{рез*6} = r_{пл*6} + r_{T*6} + r_{кл*6}, \quad (14)$$

$$r_{рез*6} = 0,723 + 0,065 + 0,174 = 0,962;$$

- модуль повного опору

$$z_{рез*6} = \sqrt{x_{рез*6}^2 + r_{рез*6}^2}, \quad (15)$$

$$z_{рез*6} = \sqrt{1,73^2 + 0,962^2} = 1,979.$$

2.5 Розраховуємо надперехідний струм трифазного КЗ (початкове діюче значення періодичного складової повного струму трифазного КЗ) у точці К2<sup>(3)</sup>

$$I_{K2}^{''(3)} = \frac{E_{c*б}''}{z_{рез*б}} \frac{S_б}{\sqrt{3}U_б}, \quad (16)$$

$$I_{K2}^{''(3)} = \frac{1}{1,979} \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 2,778 \text{ кА.}$$

2.6 Розраховуємо ударний струм у точці К2<sup>(3)</sup>

$$i_y = K_y \sqrt{2} I_{K2}^{''(3)}, \quad (17)$$

$$i_y = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 2,778 = 7,072 \text{ кА.}$$

2.7 Умовами перевірки ВН на термічну та електродинамічну стійкості є наступні нерівності

$$i_{дин} \geq i_y, \quad (18)$$

$$I_{н..відк} \geq I_{K2}^{''(3)}, \quad (19)$$

$$I_T^2 t_T \geq B_K, \quad (20)$$

де  $B_K$  – розрахунковий тепловий імпульс, що виділяється за час КЗ. У практиці розрахунків КЗ та в навчальному проектуванні розраховується за формулою

$$B_K = (I_{K2}^{''(3)})^2 (t_{відкл} + T_a); \quad (21)$$

$I_T, t_T$  – відповідно значення допустимого струму та часу термічної стійкості (паспортні дані);

$t_{відк}$  – розрахунковий час КЗ, (за умови  $t_{відк} = 0,5 \text{ с}$ );

$T_a$  – стала часу затухання аперіодичного складника струму КЗ, (за умовою  $T_a = 0,01 \text{ с}$ ).

Розраховуємо тепловий імпульс  $B_K$  за формулою (21)

$$B_K = 2,778^2 (0,5 + 0,01) = 3,936 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

$$I_T^2 t_T = 20^2 \cdot 1 = 400 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

2.8 Перевіряємо умови (18), (19) та (20):

$$25 > 7,072 \text{ кА},$$

$$10 \text{ кА} > 2,778 \text{ кА},$$

$$400 > 3,936 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Умови виконуються. Таким чином ВН типу ВНРп-10/400-10зп відповідає умовам перевірки на термічну та електродинамічну стійкості. Порівняльні дані зведено у таблицю 2.8.

Таблиця 2.8. Розрахункові та каталожні дані вимикача навантаження

Розрахункові дані	Каталожні дані
$U_{\text{уст}} = 10 \text{ кВ}$	$U_{\text{н}} = 10 \text{ кВ}$
$I_{\text{обв}} = 32,332 \text{ А}$	$I_{\text{н}} = 400 \text{ А}$
$i_{\text{у}} = 7,072 \text{ кА}$	$i_{\text{дин}} = 25 \text{ кА}$
$I_{\text{к2}}^{(3)} = 2,778 \text{ кА}$	$I_{\text{н.відк}} = 10 \text{ кА}$
$B_{\text{к}} = 3,936 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_{\text{т}}^2 t_{\text{т}} = 400 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

3 Вибираємо переріз кабелю типу АВВГ-1, що живить будівлі 1, 2, 3, 4 (між ТП2 та ТП3).

Спочатку розглянемо випадок, коли з ладу вийшов трансформатор ТП3 і для живлення споживачів використовується трансформатор ТП2. Необхідно визначити розрахункове навантаження на ділянках ТП2 – житловий будинок (будівля 4), житловий будинок (будівля 1) – житловий будинок (будівля 4), школа (будівля 2) – житловий будинок (будівля 4), кафе (будівля 3) – житловий будинок (будівля 4).

Потім виконаємо розрахунок, коли з ладу вийшов трансформатор ТП2 і для живлення споживачів використовується трансформатор ТП3. Необхідно визначити розрахункове навантаження на ділянках ТП3 – житловий будинок (будівля 1), житловий будинок (будівля 4) – житловий будинок (будівля 1), кафе (будівля 3) – житловий будинок (будівля 1), школа (будівля 2) – житловий будинок (будівля 1).

3.1 Визначаємо розрахункові навантаження на ділянці ТП2 – житловий будинок (будівля 4).

Знаходимо розрахункове активне навантаження окремих житлових будинків з квартирами  $i$ -го рівня електрифікації, приймаючи його рівним максимальному навантаженню, за виразом

$$P_{р.ж.б.i} = P_{м.ж.б.i} = P_{р.кв.i} + 0,9P_{р.л.i}, \quad (22)$$

де  $P_{р.кв.i}$  – розрахункове активне навантаження квартир  $i$ -го рівня електрифікації;

$P_{р.л.i}$  – розрахункове активне навантаження ліфтів  $i$ -го рівня електрифікації.

Оскільки у будинках відсутні ліфти, то  $P_{р.л.i} = 0$ .

Величину  $P_{р.кв.i}$  будинку  $i$ -го рівня електрифікації знаходимо за формулою

$$P_{р.кв.i} = P_{п.кв.i} n_{кв.i}, \quad (23)$$

де  $P_{п.кв.i}$  – питоме розрахункове активне навантаження квартири в будинку  $i$ -го рівня електрифікації;

$n_{кв.i}$  – кількість квартир в будинку  $i$ -го рівня електрифікації.

Величини  $P_{п.кв.i}$  знаходимо за таблицею Д2.1. Маємо:  $P_{п.кв.2} = 1$  кВт/кв, якщо  $n_{кв.2} = 100$  кв;  $P_{п.кв.1} = 1,14$  кВт/кв, якщо  $n_{кв.1} = 60$  кв.

Фактичні питомі активні навантаження  $P_{п.кв.ф.i}$  знаходимо інтерполяцією за виразом

$$P_{п.кв.ф.i} = P_{п.кв.1} + \frac{P_{п.кв.1} - P_{п.кв.2}}{n_{кв.2} - n_{кв.1}} (n_{кв.ф.i} - n_{кв.1}), \quad (24)$$

де  $n_{кв.ф.i}$  – фактична кількість квартир у будинку  $i$ -го рівня електрифікації.

Маємо:

$$P_{п.кв.ф.газ} = 1,14 + \frac{1 - 1,14}{100 - 60} (2 \cdot 40 - 60) = 1,070 \text{ кВт/кв.}$$

Підставимо у формулу (23) значення  $P_{п.кв.ф.газ} = 0,896$  кВт/кв і  $n_{кв.ф.}$ .

Одержуємо:

$$P_{\text{р.кв.газ}} = 2 \cdot 40 \cdot 1,070 = 85,600 \text{ кВт.}$$

Розрахункове реактивне навантаження квартир  $Q_{\text{р.кв}}$  знаходимо за формулою

$$Q_{\text{р.кв.}i} = P_{\text{р.кв.}i} \operatorname{tg} \varphi_i, \quad (25)$$

де  $\operatorname{tg} \varphi_i$  – коефіцієнт реактивної потужності квартир в будинку  $i$ -го рівня електрифікації.

Величини  $\operatorname{tg} \varphi_i$  знаходимо за таблицею Д2.3. Маємо:  $\operatorname{tg} \varphi_{\text{газ}} = 0,29$ .

Тоді:

$$Q_{\text{р.кв.газ}} = 85,6 \cdot 0,29 = 24,800 \text{ кВ} \cdot \text{Ар.}$$

Знаходимо розрахункові навантаження житлових будинків:

- активне за виразом (22):

$$P_{\text{р.ж.б.газ}} = 85,600 \text{ кВт.}$$

- реактивне за виразом, аналогічним (22):

$$Q_{\text{р.ж.б.газ}} = 24,800 \text{ кВ} \cdot \text{Ар.}$$

Розрахункове активне навантаження громадських будинків знаходимо за виразом

$$P_{\text{гр.б}} = P_{\text{пит}} n, \quad (26)$$

де  $P_{\text{пит}}$  – питоме навантаження на розрахункову одиницю (р.о), кВт/ р.о (таблиця Д2.4);

$n$  – кількість розрахункових одиниць.

Розрахункове реактивне навантаження громадських будинків  $Q_{\text{гр.б}}$  знаходимо за формулою

$$Q_{\text{гр.б}} = P_{\text{гр.б}} \operatorname{tg} \varphi_{\text{гр.б}}, \quad (27)$$

де  $\operatorname{tg} \varphi_{\text{гр.б}}$  – коефіцієнт реактивної потужності громадських будинків, який наведено у таблиці Д2.4.

Знаходимо розрахункове активне навантаження школи з електрифікованою їдальнею та спортивним залом, підставивши значення  $P_{п.ш} = 0,25$  кВт на учня і  $n_y$  у формулу (26):

$$P_{р.ш} = 0,25 \cdot 400 = 100,000 \text{ кВт.}$$

Знаходимо розрахункове реактивне навантаження цієї школи, підставивши значення  $P_{р.ш}$  і  $\text{tg}\varphi_{ш} = 0,33$  у формулу (27):

$$Q_{р.ш} = 100 \cdot 0,33 = 33,000 \text{ кВ}\cdot\text{Ар.}$$

Знаходимо розрахункове активне навантаження частково електрифікованого кафе, підставивши значення  $P_{п.к} = 0,8$  кВт на місце і  $n_m$  у формулу (26):

$$P_{р.к} = 0,8 \cdot 50 = 40,000 \text{ кВт.}$$

Знаходимо розрахункове реактивне навантаження цього кафе, підставивши значення  $P_{р.к}$  і  $\text{tg}\varphi_k = 0,33$  у формулу (27):

$$Q_{р.к} = 40 \cdot 0,33 = 13,200 \text{ кВ}\cdot\text{Ар.}$$

Знаходимо розрахункове навантаження на ділянці ТП2 – житловий будинок (будівля 1).

Розрахункове активне навантаження знаходимо за виразом

$$P_{р.ТП2-1} = P_{р.маx} + \sum_{k=1}^m P_{р.k} K_k, \quad (28)$$

де  $P_{р.k}$  – розрахункове навантаження  $k$ -ї споруди;

$K_k$  – коефіцієнти, що враховують частку навантажень  $k$ -ї споруди у загальному розрахунковому навантаженні;

$m$  – кількість будинків, що живляться від ТП2, окрім споруди з  $P_{р.маx}$ .

Розрахункове реактивне навантаження знаходимо за виразом, аналогічним (28).

Одержуємо:

$$P_{р.маx} = 100,000 \text{ кВт, } Q_{р.маx} = 33,000 \text{ кВ}\cdot\text{Ар.}$$

За таблицею Д2.5:  $K_1 = 0,4$  для  $P_{р.ж.б.газ} = 85,6$  кВт;  $K_2 = 0,6$  для  $P_{р.к} = 40$  кВт;  $K_1 = 0,4$  для  $Q_{р.ж.б.газ} = 24,8$  кВ·Ар;  $K_2 = 0,6$  для  $Q_{р.к} = 13,2$  кВ·Ар.

$$P_{p.тп2-1} = 100 + 0,4 \cdot 85,6 + 0,6 \cdot 40 = 158,240 \text{ кВт},$$

$$Q_{p.тп2-1} = 33 + 0,4 \cdot 24,8 + 0,6 \cdot 13,2 = 50,850 \text{ кВ}\cdot\text{Ар}.$$

3.2 Визначаємо розрахункові навантаження на ділянці житловий будинок (будівля 1) – житловий будинок (будівля 4).

Знаходимо розрахункове активне навантаження окремого житлового будинку з квартирами  $i$ -го рівня електрифікації.

Величину  $P_{п.кв.газ} = 1,31 \text{ кВт/кв}$  для  $n_{кв} = 40 \text{ кв}$  знаходимо за таблицею Д2.1. Підставивши їх у формулу (23), одержуємо:

$$P_{p.кв.газ} = 40 \cdot 1,31 = 52,400 \text{ кВт}.$$

Величини  $\text{tg}\varphi_{газ}$  знаходимо за таблицею Д2.3. Маємо:  $\text{tg}\varphi_{газ} = 0,29$ .

Тоді:

$$Q_{p.кв.газ} = 52,4 \cdot 0,29 = 15,200 \text{ кВ}\cdot\text{Ар}.$$

Розрахункове активне навантаження житлового будинку знаходимо за виразом (22):

$$P_{p.ж.б.газ} = 52,400 \text{ кВт}.$$

Розрахункове реактивне навантаження знаходимо за виразом, аналогічним (22):

$$Q_{p.ж.б.газ} = 15,200 \text{ кВ}\cdot\text{Ар}.$$

Розрахункові активне та реактивне навантаження громадських будинків залишається незмінним, тому результати розрахунку навантажень школи та кафе беремо з пункту 3.1.

Знаходимо розрахункові навантаження на ділянці житловий будинок (будівля 1) – школа (будівля 2).

Розрахункове активне навантаження знаходимо за виразом

$$P_{p.1-2} = P_{p.\max} + \sum_{k=1}^m P_{p.k} K_k, \quad (29)$$

де  $P_{p.k}$  – розрахункове навантаження  $k$ -ї споруди;

$K_k$  – коефіцієнти, що враховують частку навантажень  $k$ -ї споруди у загальному розрахунковому навантаженні;

$m$  – кількість будинків, що живляться від ТП2, окрім споруди з  $P_{p.\max}$ .

Розрахункове реактивне навантаження знаходимо за виразом, аналогічним (29).

Одержуємо:

$$P_{p.\max} = 100,000 \text{ кВт}, Q_{p.\max} = 33,000 \text{ кВ}\cdot\text{Ар}.$$

За таблицею Д2.5:  $K_1 = 0,4$  для  $P_{p.\text{ж.б.газ}} = 52,4 \text{ кВт}$ ;  $K_2 = 0,6$  для  $P_{p.\text{к}} = 40 \text{ кВт}$ ;  $K_1 = 0,4$  для  $Q_{p.\text{ж.б.газ}} = 15,2 \text{ кВ}\cdot\text{Ар}$ ;  $K_2 = 0,6$  для  $Q_{p.\text{к}} = 13,2 \text{ кВ}\cdot\text{Ар}$ .

$$P_{p.1-2} = 100 + 0,4 \cdot 52,4 + 0,6 \cdot 40 = 144,960 \text{ кВт},$$

$$Q_{p.1-2} = 33 + 0,4 \cdot 15,2 + 0,6 \cdot 13,2 = 46,998 \text{ кВ}\cdot\text{Ар}.$$

3.3 Визначаємо розрахункові навантаження на ділянці школа (будівля 2) – житловий будинок (будівля 4).

Розрахункове активне навантаження житлового будинку залишається незмінним, тому результати розрахунку беремо з пункту 3.2.

Розрахункове активне та реактивне навантаження громадських будинків залишається незмінним, тому результати розрахунку навантажень кафе беремо з пункту 3.1.

Знаходимо розрахункове навантаження на ділянці школа (будівля 2) – кафе (будівля 3).

Розрахункове активне навантаження знаходимо за виразом

$$P_{p.2-3} = P_{p.\max} + \sum_{k=1}^m P_{p.k} K_k, \quad (30)$$

де  $P_{p.k}$  – розрахункове навантаження  $k$ -ї споруди;

$K_k$  – коефіцієнти, що враховують частку навантажень  $k$ -ї споруди у загальному розрахунковому навантаженні;

$m$  – кількість будинків, що живляться від ТП2, окрім споруди з  $P_{p.\max}$ .

Розрахункове реактивне навантаження знаходимо за виразом, аналогічним (30).

Одержуємо:

$$P_{p.\max} = 52,500 \text{ кВт}, Q_{p.\max} = 15,200 \text{ кВ}\cdot\text{Ар}.$$



За таблицею Д2.5:  $K = 0,6$  для  $P_{p.k} = 40$  кВт;  $K = 0,6$  для  $Q_{p.k} = 13,2$  кВ·Ар.

$$P_{p.2-3} = 52,5 + 0,6 \cdot 40 = 76,400 \text{ кВт},$$

$$Q_{p.2-3} = 15,2 + 0,6 \cdot 13,2 = 23,116 \text{ кВ·Ар}.$$

3.4 Визначаємо розрахункові навантаження на ділянці кафе (будівля 3) – житловий будинок (будівля 4).

Розрахункове активне та реактивне навантаження житлового будинку залишається незмінним, тому результати розрахунку беремо з пункту 3.2.

Знаходимо розрахункове навантаження на ділянці кафе (будівля 3) – житловий будинок (будівля 4). Розрахункове активне навантаження дорівнює розрахунковому навантаженню житлового будинку:

$$P_{p.3-4} = P_{p.ж.б.газ}, \quad (31)$$

Розрахункове реактивне навантаження знаходимо за виразом, аналогічним (31).

Маємо:

$$P_{p.3-4} = 52,4 \text{ кВт},$$

$$Q_{p.3-4} = 15,2 \text{ кВ·Ар}.$$

3.5 Визначаємо розрахункові навантаження на ділянці ТПЗ – житловий будинок (будівля 1), аналогічно пункту 3.1.

Тому маємо ті ж розрахункові навантаження, що і на ділянці житловий будинок (будівля 4) – кафе (будівля 3):

$$P_{p.ТПЗ-4} = 158,240 \text{ кВт},$$

$$Q_{p.ТПЗ-4} = 50,850 \text{ кВ·Ар}.$$

3.6 Визначаємо розрахункове навантаження на ділянці житловий будинок (будівля 4) – житловий будинок (будівля 1), аналогічно пункту 3.2.

Тому маємо розрахункові навантаження на ділянці кафе (будівля 3) – школа (будівля 2):

$$P_{p.4-3} = 144,960 \text{ кВт},$$

$$Q_{p.4-3} = 46,998 \text{ кВ}\cdot\text{Ар.}$$

3.7 Визначаємо розрахункові навантаження на ділянці кафе (будівля 3) – житловий будинок (будівля 1).

Розрахункове активне та реактивне навантаження житлового будинку залишається незмінним, тому розрахунок беремо з пункту 3.2.

Розрахункове активне та реактивне навантаження громадських будинків залишається незмінним, тому розрахунок навантаження кафе беремо з пункту 3.1.

Знаходимо розрахункове навантаження на ділянці кафе (будівля 3) – школа (будівля 2). Розрахункове активне навантаження знаходимо за виразом

$$P_{p.3-2} = P_{p.\max} + \sum_{k=1}^m P_{p.k} K_k, \quad (32)$$

де  $P_{p.k}$  – розрахункове навантаження  $k$ -ї споруди;

$K_k$  – коефіцієнти, що враховують частку навантажень  $k$ -ї споруди у загальному розрахунковому навантаженні;

$m$  – кількість будинків, що живляться від ТП2, окрім споруди з  $P_{p.\max}$ .

Розрахункове реактивне навантаження знаходимо за виразом, аналогічним (32).

Одержуємо:

$$P_{p.\max} = 100,000 \text{ кВт}, Q_{p.\max} = 33,000 \text{ кВ}\cdot\text{Ар.}$$

За таблицею Д2.5:  $K = 0,4$  для  $P_{p.ж.б.газ} = 52,4 \text{ кВт}$ ;  $K = 0,4$  для  $Q_{p.ж.б.газ} = 15,2 \text{ кВ}\cdot\text{Ар.}$

$$P_{p.3-2} = 100 + 0,4 \cdot 52,4 = 120,960 \text{ кВт},$$

$$Q_{p.3-2} = 33 + 0,4 \cdot 15,2 = 39,078 \text{ кВ}\cdot\text{Ар.}$$

3.8 Визначаємо розрахункові навантаження на ділянці школа (будівля 2) – житловий будинок (будівля 1), аналогічно пункту 3.4.

Тому маємо ті ж розрахункові навантаження, що і на ділянці школа (будівля 2) – житловий будинок (будівля 1):

$$P_{p.2-1} = 52,4 \text{ кВт},$$

$$Q_{p.2-1} = 15,2 \text{ кВ} \cdot \text{Ар.}$$

3.9 Визначимо розрахунковий струм для шин 0,4 кВ трансформатора ТП2 у разі виходу з ладу трансформатора ТП3 за виразом

$$I_{p.0,4\text{ТП}2} = \frac{\sqrt{P_{p.\text{ТП}2-1}^2 + Q_{p.\text{ТП}2-1}^2}}{\sqrt{3}U_{\text{н}}}, \quad (33)$$

$$I_{p.0,4\text{ТП}2} = \frac{\sqrt{158,24^2 + 50,85^2}}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 228,210 \text{ А.}$$

Вибираємо переріз кабелю АБВГ за умови

$$\frac{I_{p.0,4\text{ТП}2}}{K_1 K_2 K_3} \leq I_{\text{д}}, \quad (34)$$

де  $K_1$  – коефіцієнт, який враховує середньорічну температуру; визначаємо за таблицею Д2.12;

$K_2$  – коефіцієнт, який враховує кількість паралельно працюючих кабелів; визначаємо за таблицею Д2.13;

$K_3$  – коефіцієнт допустимого перевантаження кабельної лінії у після-аварійному режимі; визначаємо за таблицею Д2.14;

$I_{\text{д}}$  – допустиме струмове навантаження для певного перерізу; беремо найближче більше значення зі стандартного переліку таблиці Д2.10.

Отже:  $K_1 = 1$ ,  $K_2 = 1$ ,  $K_3 = 1,25$ .

Маємо:

$$\frac{228,21}{1 \cdot 1 \cdot 1,25} \leq I_{\text{д}},$$

$$182,568 \leq I_{\text{д}}.$$

Вибираємо з таблиці Д2.10 стандартний переріз кабелю АБВГ-1-(4×95) з допустимими струмовими навантаженнями  $I_{\text{д}} = 197 \text{ А}$  та значеннями питомих опорів:  $r_0 = 0,32 \text{ Ом/км}$ ,  $x_0 = 0,0602 \text{ Ом/км}$ .

3.10 Перевіряємо вибраний кабель на допустиму втрату напруги у разі виходу з ладу трансформатора ТПЗ або у разі виходу з ладу трансформатора ТП2.

Визначимо втрату напруги післяаварійного режиму на кожній ділянці лінії за виразом

$$\Delta U_i = \frac{100L_i(P_i r_0 + Q_i x_0)}{U_n^2}, \quad (35)$$

де  $L_i$  – довжина  $i$ -ї ділянки лінії.

У разі виходу з ладу трансформатора ТПЗ маємо:

$$\Delta U_{\text{ТП2-1}} = \frac{100 \cdot 70(158,24 \cdot 0,32 + 50,85 \cdot 0,0602)}{380^2} = 2,603 \%,$$

$$\Delta U_{1-2} = \frac{100 \cdot 100(144,96 \cdot 0,32 + 46,998 \cdot 0,0602)}{380^2} = 3,408 \%,$$

$$\Delta U_{2-3} = \frac{100 \cdot 125(76,4 \cdot 0,32 + 23,116 \cdot 0,0602)}{380^2} = 2,237 \%,$$

$$\Delta U_{3-4} = \frac{100 \cdot 110(52,4 \cdot 0,32 + 15,2 \cdot 0,0602)}{380^2} = 1,347 \%.$$

У разі виходу з ладу трансформатора ТП2 маємо:

$$\Delta U_{\text{ТП3-4}} = \frac{100 \cdot 90(158,24 \cdot 0,32 + 50,850 \cdot 0,0602)}{380^2} = 3,347 \%,$$

$$\Delta U_{4-3} = \frac{100 \cdot 110(144,96 \cdot 0,32 + 46,998 \cdot 0,0602)}{380^2} = 3,749 \%,$$

$$\Delta U_{3-2} = \frac{100 \cdot 125(120,96 \cdot 0,32 + 29,078 \cdot 0,0602)}{380^2} = 3,554 \%,$$

$$\Delta U_{2-1} = \frac{100 \cdot 100(52,4 \cdot 0,32 + 15,2 \cdot 0,0602)}{380^2} = 1,125 \%.$$

Визначимо сумарну втрату напруги післяаварійного режиму за виразом

$$\Delta U_{\Sigma} = \sum_{i=1}^k \Delta U_i, \quad (36)$$

де  $k$  – кількість ділянок лінії.

У разі виходу з ладу трансформатора ТП3 маємо:

$$\Delta U_{\text{ТП2-ТП3}} = 2,603 + 3,408 + 2,237 + 1,347 = 9,595 \text{ \%}.$$

У разі виходу з ладу трансформатора ТП2 маємо:

$$\Delta U_{\text{ТП3-ТП2}} = 3,347 + 3,749 + 3,554 + 1,225 = 11,875 \text{ \%}.$$

З урахуванням того, що напруга на шинах 0,4 кВ ТП складає 0,4 кВ, а допустиме відхилення напруги у споживачів дорівнює  $\pm 5 \text{ \%}$ , допустима втрата напруги у мереже буде дорівнювати  $10 \text{ \%}$ , тобто  $\Delta U_{\text{д}} = 10 \text{ \%}$ . У разі виходу з ладу трансформатора ТП2 маємо перебільшення норми, тому вибраний кабель типу АВВГ-1-(4×95) не проходить з допустимою втратою напруги. Тому вибираємо кабель перерізом АВВГ-1-(4×120).

4 Перевіряємо допустимість навантаження трансформатора ТП3 у нормальному та післяаварійному режимах (у разі виходу з ладу трансформатору ТП2).

4.1 Перевіряємо допустимість навантаження трансформатору ТП3 у нормальному режимі.

Знаходимо розрахункове активне навантаження окремих житлових будинків із квартирами  $i$ -го рівня електрифікації за формулою (22).

Величини  $P_{\text{п.кв.}i}$  знаходимо за таблицею Д2.1.

Маємо: квартири I-го рівня електрифікації:  $P_{\text{п.кв.}2} = 0,87 \text{ кВт/кв}$ , якщо  $n_{\text{кв.}2} = 200 \text{ кв}$ ;  $P_{\text{п.кв.}1} = 1,00 \text{ кВт/кв}$ , якщо  $n_{\text{кв.}1} = 100 \text{ кв}$ .

Фактичне питоме активне навантаження  $P_{\text{п.кв.ф.газ}}$  знаходимо інтерполяцією за формулою (24).

Маємо:

$$P_{\text{п.кв.ф.газ}} = 1 + \frac{0,87 - 1}{200 - 100} [(40 + 40 + 108) - 100] = 0,8856 \text{ кВт/кв}.$$

Підставивши у формулу (23) значення  $P_{\text{п.кв.ф.газ}} = 0,8856 \text{ кВт/кв}$  і  $n_{\text{кв.ф}}$ , знаходимо:

$$P_{\text{р.кв.газ}} = (40 + 40 + 108)0,8856 = 166,493 \text{ кВт}.$$

Розрахункове реактивне навантаження квартир  $Q_{p.kв}$  знаходимо за формулою (25). Величину  $\text{tg}\varphi_{\text{газ}} = 0,29$  знаходимо за таблицею Д2.3.

Маємо:

$$Q_{p.kв.газ} = 166,493 \cdot 0,29 = 48,283 \text{ кВ}\cdot\text{Ар.}$$

Знаходимо розрахункове активне навантаження ліфтів за виразом

$$P_{p.l.i} = P_{n.l.i} n_{l.i} K_{p.l.i}, \quad (37)$$

де  $P_{n.l.i}$  – номінальна активна потужність одного ліфта у будинку  $i$ -го рівня електрифікації;

$n_{l.i}$  – кількість ліфтів в будинку  $i$ -го рівня електрифікації;

$K_{p.l.i}$  – коефіцієнт попиту ліфтів в будинку  $i$ -го рівня електрифікації.

Величину  $K_{p.l.газ} = 0,8$  знаходимо за таблицею Д2.2.

Маємо за формулою (37):

$$P_{p.l.газ} = 3 \cdot 6,5 \cdot 0,8 = 15,600 \text{ кВт.}$$

Знаходимо розрахункове реактивне навантаження ліфтів за виразом

$$Q_{p.l.i} = P_{p.l.i} \text{tg}\varphi_{l.i}, \quad (38)$$

де  $\text{tg}\varphi_{l.i}$  – коефіцієнт реактивної потужності ліфтів.

Величини  $\text{tg}\varphi_l = 1,17$  знаходимо за таблицею Д2.3.

Тоді:

$$Q_{p.l.газ} = 15,6 \cdot 1,17 = 18,252 \text{ кВ}\cdot\text{Ар.}$$

Знаходимо розрахункові навантаження житлового будинку.

Розрахункове активне навантаження знаходимо за виразом (22):

$$P_{p.ж.б.газ} = 166,493 + 0,9 \cdot 15,6 = 180,533 \text{ кВт.}$$

Розрахункове реактивне навантаження знаходимо за виразом, аналогічним (22):

$$Q_{p.ж.б.газ} = 48,283 + 0,9 \cdot 18,252 = 64,710 \text{ кВ}\cdot\text{Ар.}$$

Розрахункове активне навантаження громадських будинків знаходимо з урахуванням нормативних значень питомої потужності для конкретного

типу будинків, які наведено у таблиці Д2.4, методом питомого навантаження за формулою (26).

Розрахункове реактивне навантаження громадських будинків знаходимо за формулою (27).

Розрахункові активне та реактивне навантаження кафе беремо з пункту 3.1.

Знаходимо розрахункове активне навантаження двозмінного універсаму без кондиціонерів повітря, підставивши значення  $P_{п.у} = 0,15$  кВт на  $м^2$  і  $n_{кв.м}$  у формулу (26).

Маємо:

$$P_{п.у} = 0,15 \cdot 600 = 90,000 \text{ кВт.}$$

Знаходимо розрахункове реактивне навантаження двозмінного універсаму без кондиціонерів повітря, підставивши значення  $P_{п.у}$  і  $\text{tg}\varphi_y = 0,57$  у формулу (27).

Маємо:

$$Q_{п.у} = 90 \cdot 0,57 = 51,300 \text{ кВ}\cdot\text{Ар.}$$

Розрахункове активне навантаження на шинах 0,4 кВ ТПЗ знаходимо за виразом

$$P_{п.0,4\text{ТПЗ}} = P_{п.\text{max}} + \sum_{k=1}^m P_{п.k} K_k, \quad (39)$$

де  $P_{п.k}$  – розрахункове навантаження  $k$ -ї споруди;

$K_k$  – коефіцієнти, що враховують частку навантажень  $k$ -ї споруди у загальному розрахунковому навантаженні;

$m$  – кількість будинків, що живляться від ТПЗ, окрім споруди з  $P_{п.\text{max}}$ .

Розрахункове реактивне навантаження знаходимо за виразом, аналогічним (39).

Одержуємо:

$$P_{п.\text{max}} = 180,533 \text{ кВт, } Q_{п.\text{max}} = 64,710 \text{ кВ}\cdot\text{Ар.}$$

За таблицею Д2.5:  $K_1 = 0,7$  для  $P_{p.k} = 40$  кВт;  $K_2 = 0,8$  для  $P_{p.y} = 90$  кВт;  
 $K_1 = 0,7$  для  $Q_{p.k} = 13,2$  кВ·Ар;  $K_2 = 0,8$  для  $Q_{p.y} = 51,3$  кВ·Ар.

$$P_{p,0,4ТПЗ} = 180,533 + 0,7 \cdot 40 + 0,8 \cdot 90 = 280,533 \text{ кВт},$$

$$Q_{p,0,4ТПЗ} = 64,710 + 0,7 \cdot 13,2 + 0,8 \cdot 51,3 = 114,990 \text{ кВ·Ар}.$$

Розрахункове повне навантаження на шинах 0,4 кВ ТПЗ у нормальному режимі роботи знаходимо за виразом

$$S_{p,0,4ТПЗ} = \sqrt{P_{p,0,4ТПЗ}^2 + Q_{p,0,4ТПЗ}^2}, \quad (40)$$

$$S_{p,0,4ТПЗ} = \sqrt{578,808^2 + 215,193^2} = 617,516 \text{ кВ·А}.$$

4.2 Перевіряємо допустимість навантаження трансформатору ТПЗ у післяаварійному (у разі виходу з ладу трансформатору ТП2) режимі.

Знаходимо розрахункове активне навантаження окремих житлових будинків із квартирами  $i$ -го рівня електрифікації за формулою (22).

Величини  $P_{п.кв.i}$  знаходимо за таблицею Д2.1.

Маємо:

- квартири I-го рівня електрифікації:  $P_{п.кв.2} = 0,74$  кВт/кв, якщо  $n_{кв.2} = 400$  кв;  $P_{п.кв.1} = 0,87$  кВт/кв, якщо  $n_{кв.1} = 200$  кв.

- квартири III-го рівня електрифікації:  $P_{п.кв.2} = 1,73$  кВт/кв, якщо  $n_{кв.2} = 100$  кв;  $P_{п.кв.1} = 2,10$  кВт/кв, якщо  $n_{кв.1} = 60$  кв.

Фактичні питомі активні навантаження  $P_{п.кв.ф.i}$  знаходимо інтерполяцією за формулою (24).

Маємо:

$$P_{п.кв.ф.газ} = 0,87 + \frac{0,74 - 0,87}{400 - 200} [(40 + 40 + 40 + 108 + 108) - 200] = 0,7816 \text{ кВт/кв},$$

$$P_{п.кв.ф.ел} = 2,1 + \frac{1,73 - 2,1}{200 - 100} (72 - 60) = 1,989 \text{ кВт/кв}.$$

Підставивши у формулу (23) значення  $P_{п.кв.ф.газ} = 0,7816$  кВт/кв,  $P_{п.кв.ф.ел} = 1,989$  кВт/кв і  $n_{кв.ф.i}$ , знаходимо:

$$P_{p,кв.газ} = (40 + 40 + 40 + 108 + 108) 0,7816 = 262,618 \text{ кВт},$$

$$P_{p,кв.ел} = 72 \cdot 1,989 = 143,208 \text{ кВт}.$$



Розрахункове реактивне навантаження квартир  $Q_{p.kv}$  знаходимо за формулою (25). Величини  $\text{tg}\varphi_{\text{газ}} = 0,29$ ,  $\text{tg}\varphi_{\text{ел}} = 0,4$  знаходимо за таблицею Д2.3.

Тоді:

$$Q_{p.kv.газ} = 262,618 \cdot 0,29 = 76,159 \text{ кВ}\cdot\text{Ар},$$

$$Q_{p.kv.ел} = 143,208 \cdot 0,4 = 28,6420 \text{ кВ}\cdot\text{Ар}.$$

Знайшовши за таблицею Д2.2  $K_{п.л.газ} = 0,65$  і  $K_{п.л.ел} = 0,8$ , за формулою (37) одержуємо:

$$P_{p.l.газ} = 6 \cdot 6,5 \cdot 0,65 = 25,350 \text{ кВт},$$

$$P_{p.l.ел} = 2(6,5 + 9) \cdot 0,8 = 24,800 \text{ кВт}.$$

Знайшовши за таблицею Д2.3  $\text{tg}\varphi_{л.i} = 1,17$ , за формулою (38), одержуємо:

$$Q_{p.l.газ} = 25,35 \cdot 1,17 = 29,660 \text{ кВ}\cdot\text{Ар},$$

$$Q_{p.kv.ел} = 24,8 \cdot 1,17 = 29,016 \text{ кВ}\cdot\text{Ар}.$$

Знаходимо розрахункові навантаження житлових будинків. Розрахункове активне навантаження знаходимо за виразом (22):

$$P_{p.j.b.газ} = 262,618 + 0,9 \cdot 25,35 = 285,433 \text{ кВт},$$

$$P_{p.j.b.ел} = 143,208 + 0,9 \cdot 24,8 = 165,528 \text{ кВт}.$$

Розрахункове реактивне навантаження знаходимо за виразом, аналогічним (22):

$$Q_{p.j.b.газ} = 76,159 + 0,9 \cdot 29,66 = 102,853 \text{ кВ}\cdot\text{Ар},$$

$$Q_{p.j.b.ел} = 28,642 + 0,9 \cdot 29,016 = 54,756 \text{ кВ}\cdot\text{Ар}.$$

Розрахункове активне навантаження громадських будинків знаходимо з урахуванням нормативних значень питомої потужності для конкретного типу будинків, які наведено у таблиці Д24, методом питомого навантаження за формулою (26).

Розрахункове реактивне навантаження громадських будинків знаходимо за формулою (27).

Розрахункові активне та реактивне навантаження школи та кафе беремо з пункту 3.1, універсаму – з пункту 4.1.

Знаходимо розрахункове активне навантаження дитячого садка з електрифікованим харчовим блоком. Підставивши значення  $P_{п.д.с} = 0,45$  кВт на місце  $i$   $n_d$  у формулу (26), одержуємо:

$$P_{р.д.с} = 0,45 \cdot 80 = 36,000 \text{ кВт.}$$

Знаходимо розрахункове реактивне навантаження дитячого садка з електрифікованим харчовим блоком. Підставивши значення  $P_{р.д.с}$  і  $\text{tg}\varphi_{д.с} = 0,20$  у формулу (27), одержуємо:

$$Q_{р.д.с} = 36 \cdot 0,2 = 7,200 \text{ кВ}\cdot\text{Ар.}$$

Розрахункове активне навантаження на шинах 0,4 кВ ТПЗ знаходимо за виразом

$$P_{р.0,4\text{ТПЗ}} = P_{р.\text{max}} + \sum_{k=1}^m P_{р.k} K_k, \quad (41)$$

де  $P_{р.k}$  – розрахункове навантаження  $k$ -ї споруди;

$K_k$  – коефіцієнти, що враховують частку навантажень  $k$ -ї споруди у загальному розрахунковому навантаженні;

$m$  – кількість будинків, що живляться від ТП2, окрім споруди з  $P_{р.\text{max}}$ .

Розрахункове реактивне навантаження на шинах 0,4 кВ ТПЗ знаходимо за виразом, аналогічним (41).

Одержуємо:

$$P_{р.\text{max}} = 285,433 \text{ кВт, } Q_{р.\text{max}} = 102,853 \text{ кВ}\cdot\text{Ар.}$$

За таблицею Д2.5:  $K_1 = 0,9$  для  $P_{р.ж.б.ел} = 165,528$  кВт;  $K_2 = 0,3$  для  $P_{р.ш} = 100$  кВт;  $K_3 = 0,4$  для  $P_{р.д.с} = 36$  кВт;  $K_4 = 0,7$  для  $P_{р.к} = 40$  кВт;  $K_5 = 0,8$  для  $P_{р.у} = 90$  кВт;  $K_1 = 0,9$  для  $Q_{р.ж.б.ел} = 54,756$  кВ·Ар;  $K_2 = 0,3$  для  $Q_{р.ш} = 33$  кВ·Ар;  $K_3 = 0,4$  для  $Q_{р.д.с} = 7,2$  кВ·Ар;  $K_4 = 0,7$  для  $Q_{р.к} = 13,2$  кВ·Ар;  $K_5 = 0,8$  для  $Q_{р.у} = 51,3$  кВ·Ар.

$$P_{р.п/а.0,4\text{ТПЗ}} = 285,433 + 0,9 \cdot 165,528 + 0,3 \cdot 100 + 0,4 \cdot 36 + 0,7 \cdot 40 + 0,8 \cdot 90 = 578,808 \text{ кВт,}$$

$$Q_{p.n/a.0,4ТПЗ} = 102,853 + 0,9 \cdot 54,756 + 0,3 \cdot 33 + 0,4 \cdot 7,2 + 0,7 \cdot 13,2 + 0,8 \cdot 51,3 = 215,193 \text{ кВ}\cdot\text{Ар.}$$

Розрахункове повне навантаження на шинах 0,4 кВ ТПЗ у післяаварійному режимі знаходимо за виразом, аналогічним (40)

$$S_{p.n/a.0,4ТПЗ} = \sqrt{578,808^2 + 215,193^2} = 617,516 \text{ кВ}\cdot\text{А.}$$

Допустиме перевантаження трансформатора для післяаварійного режиму складає 40 % за умови.

Отже:

$$S_d = K_3 S_n, \quad (42)$$

$$S_d = 1,4 \cdot 400 = 560 \text{ кВ}\cdot\text{А.}$$

Оскільки  $S_{p.n/a.0,4ТПЗ} > S_d$ , тобто  $617,516 \text{ кВ}\cdot\text{А} > 560 \text{ кВ}\cdot\text{А}$ , робимо висновок, що у разі виходу з ладу трансформатора ТП2 трансформатор ТПЗ не витримає перевантаження.

5 Розрахуємо річні втрати енергії у трансформаторі та лінії методом середніх навантажень.

Визначимо середню активну та реактивну потужності на шинах ЦЖ за виразами

$$P_{cp} = \frac{A_p}{T_B}, \quad (43)$$

$$Q_{cp} = \frac{A_Q}{T_B}, \quad (44)$$

де  $T_B$  – час роботи трансформатора за рік;  $T_B = 8760$  год.

Маємо:

$$P_{cp} = \frac{4693700}{8760} = 5358,105 \text{ кВт,}$$

$$Q_{cp} = \frac{23412000}{8760} = 2673,603 \text{ кВ}\cdot\text{Ар.}$$

Визначимо втрати активної та реактивної потужностей у лінії за виразами

$$\Delta P_{\text{л}} = \frac{(P_{\text{сп}}^2 + Q_{\text{сп}}^2)}{U_{\text{н}}^2} r_0 L_{\text{л}}, \quad (45)$$

$$\Delta Q_{\text{л}} = \frac{(P_{\text{сп}}^2 + Q_{\text{сп}}^2)}{U_{\text{н}}^2} x_0 L_{\text{л}}. \quad (46)$$

Маємо:

$$\Delta P_{\text{л}} = \frac{(5358,105^2 + 2673,603^2)}{1000 \cdot 35^2} 0,33 \cdot 30 = 289,743 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_{\text{л}} = \frac{(5358,105^2 + 2673,603^2)}{1000 \cdot 35^2} 0,41 \cdot 30 = 359,984 \text{ кВ}\cdot\text{Ар}.$$

Визначимо активну та реактивну потужності у кінці лінії з урахуванням втрат потужностей у лінії за виразами

$$P_{\text{л}} = P_{\text{сп}} - \Delta P_{\text{л}}, \quad (47)$$

$$Q_{\text{л}} = Q_{\text{сп}} - \Delta Q_{\text{л}}. \quad (48)$$

Маємо:

$$P_{\text{л}} = 5358,105 - 289,743 = 5068,362 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{л}} = 2673,603 - 359,984 = 2312,618 \text{ кВ}\cdot\text{Ар}.$$

Визначимо активну та реактивну потужності перед трансформатором з урахування втрат неробочого ходу у трансформаторі за виразами

$$P_{\text{тр}} = P_{\text{л}} - P_{\text{н.х}}, \quad (49)$$

$$Q_{\text{тр}} = Q_{\text{л}} - \frac{I_{\text{н.х}} S_{\text{н}}}{100}. \quad (50)$$

Маємо:

$$P_{\text{тр}} = 5068,362 - 14,5 = 5053,862 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{тр}} = 2312,618 - \frac{0,8 \cdot 10000}{100} = 2232,618 \text{ кВ}\cdot\text{Ар}.$$

Визначимо активні та реактивні навантажувальні втрати у трансформаторі за виразами

$$\Delta P_{\text{н.тр}} = P_{\text{к}} \frac{P_{\text{тр}}^2 + Q_{\text{тр}}^2}{S_{\text{н}}^2}, \quad (51)$$

$$\Delta Q_{\text{н.тр}} = \frac{u_{\text{к}}}{100} \frac{P_{\text{тр}}^2 + Q_{\text{тр}}^2}{S_{\text{н}}}. \quad (52)$$

Маємо:

$$\Delta P_{\text{н.тр}} = 65 \frac{5053,862^2 + 2232,618^2}{10000^2} = 19,842 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_{\text{н.тр}} = \frac{7,5}{100} \frac{5053,862^2 + 2232,618^2}{10000} = 228,946 \text{ кВ}\cdot\text{Ар}.$$

Визначимо коефіцієнт заповнення графіка електричних навантажень (ЕН) за виразом

$$K_{3,г} = \frac{T_{\text{max}}}{T_{\text{в}}}, \quad (53)$$

де  $T_{\text{max}}$  – кількість годин використання максимуму навантаження;

$T_{\text{в}}$  – кількість годин роботи трансформатора.

Маємо:

$$K_{3,г} = \frac{4500}{8760} = 0,514.$$

Розраховуємо річні втрати електроенергії двома способами:

*Перший спосіб:*

Визначимо коефіцієнт форми графіка ЕН за виразом

$$K_{\phi} = \left( \frac{1090}{T_{\text{max}}} + 0,876 \right)^2. \quad (54)$$

Маємо:

$$K_{\phi} = \left( \frac{1090}{4500} + 0,876 \right)^2 = 1,250.$$

Визначимо активні та реактивні річні втрати енергії у лінії за виразами

$$\Delta A_{P_{\text{л}}} = \Delta P_{\text{л}} K_{\phi}^2 T_{\text{в}}, \quad (55)$$

$$\Delta A_{Q_{\text{л}}} = \Delta Q_{\text{л}} K_{\phi}^2 T_{\text{в}}. \quad (56)$$

Маємо:

$$\Delta A_{P_{\text{л}}} = 289,743 \cdot 1,25^2 \cdot 8760 = 3968535,077 \text{ кВт}\cdot\text{год},$$

$$\Delta A_{Q_{\text{л}}} = 359,984 \cdot 1,25^2 \cdot 8760 = 4930604,187 \text{ кВ}\cdot\text{Ар}\cdot\text{год}.$$

Визначимо активні та реактивні річні втрати енергії у трансформаторі за виразами

$$\Delta A_{P_{\text{тр}}} = \Delta P_{\text{н.тр}} K_{\phi}^2 T_{\text{в}} + P_{\text{н.х}} T_{\text{в}}, \quad (57)$$

$$\Delta A_{Q_{\text{тр}}} = \Delta Q_{\text{н.тр}} K_{\phi}^2 T_{\text{в}} + \frac{I_{\text{н.х}} S_{\text{н}}}{100} T_{\text{в}}. \quad (58)$$

Маємо:

$$\Delta A_{P_{\text{тр}}} = 19,842 \cdot 1,25^2 \cdot 8760 + 14,5 \cdot 8760 = 398789,857 \text{ кВт}\cdot\text{год},$$

$$\Delta A_{Q_{\text{тр}}} = 228,946 \cdot 1,25^2 \cdot 8760 + \frac{0,8 \cdot 10000}{100} 8760 = 3836606,040 \text{ кВ}\cdot\text{Ар}\cdot\text{год}.$$

*Другий спосіб:*

Визначимо коефіцієнт форми графіка ЕН за виразом

$$K_{\phi} = \frac{1 + 2K_{3,\Gamma}}{3K_{3,\Gamma}}. \quad (54)$$

Маємо:

$$K_{\phi} = \frac{1 + 2 \cdot 0,514}{3 \cdot 0,514} = 1,316.$$

Визначимо активні та реактивні річні втрати енергії у лінії за виразами

$$\Delta A_{P_{\text{л}}} = \Delta P_{\text{л}} K_{\phi}^2 T_{\text{в}}, \quad (55)$$

$$\Delta A_{Q_{\text{л}}} = \Delta Q_{\text{л}} K_{\phi}^2 T_{\text{в}}. \quad (56)$$

Маємо:

$$\Delta A_{P_{\text{л}}} = 289,743 \cdot 1,316^2 \cdot 8760 = 4392746,431 \text{ кВт}\cdot\text{год},$$

$$\Delta A_{Q_{\text{л}}} = 359,984 \cdot 1,316^2 \cdot 8760 = 5457654,657 \text{ кВ}\cdot\text{Ар}\cdot\text{год}.$$

Визначимо активні та реактивні річні втрати енергії у трансформаторі за виразами

$$\Delta A_{P_{\text{тр}}} = \Delta P_{\text{н.тр}} K_{\phi}^2 T_{\text{в}} + \Delta P_{\text{нх}} T_{\text{в}}, \quad (57)$$

$$\Delta A_{Q_{\text{тр}}} = \Delta Q_{\text{н.тр}} K_{\phi}^2 T_{\text{в}} + \frac{I_{\text{нх}} S_{\text{н}}}{100} T_{\text{в}}. \quad (58)$$

Маємо:

$$\Delta A_{P_{\text{тр}}} = 19,842 \cdot 1,316^2 \cdot 8760 + 14,5 \cdot 8760 = 427840,339 \text{ кВт} \cdot \text{год},$$

$$\Delta A_{Q_{\text{тр}}} = 228,946 \cdot 1,316^2 \cdot 8760 + \frac{0,8 \cdot 10000}{100} 8760 = 4171803,915 \text{ кВ} \cdot \text{Ар} \cdot \text{год}.$$

### Відповідь:

1. Розрахункове навантаження трансформаторної підстанції ТП1, від якої отримує живлення цех промислового підприємства, складає  $S_{\text{р},0,4\text{ТП1}} = 389,421 \text{ кВ} \cdot \text{А}$ .
2. Вибрано вимикач навантаження типу ВНРп-10/400-10зп. Каталожні дані наведено у таблиці 2.2.
3. Для живлення будівель 1, 2, 3, 4 (між ТП2 та ТП3) вибрано кабель типу АВВГ-1-(4×120).
4. Навантаження трансформатору ТП3 у нормальному режимі допустиме, а у післяаварійному режимі не допустимо.
5. Річні втрати електричної енергії складають:

*Перший спосіб:*

– у трансформаторі 35/10 кВ:  $\Delta A_{P_{\text{тр}}} = 398789,857 \text{ кВт} \cdot \text{год},$

$$\Delta A_{Q_{\text{тр}}} = 3836606,040 \text{ кВ} \cdot \text{Ар} \cdot \text{год};$$

– у лінії 35 кВ:  $\Delta A_{P_{\text{л}}} = 3968535,077 \text{ кВт} \cdot \text{год},$

$$\Delta A_{Q_{\text{л}}} = 4930604,187 \text{ кВ} \cdot \text{Ар} \cdot \text{год}.$$

*Другий спосіб:*

– у трансформаторі 35/10 кВ:  $\Delta A_{P_{\text{тр}}} = 427840,339 \text{ кВт} \cdot \text{год},$

$$\Delta A_{Q_{\text{тр}}} = 4171803,915 \text{ кВ} \cdot \text{Ар} \cdot \text{год};$$

$$- \text{у лінії 35 кВ: } \Delta A_{P,л} = 4392746,431 \text{ кВт}\cdot\text{год},$$

$$\Delta A_{Q,л} = 5457654,657 \text{ кВ}\cdot\text{Ар}\cdot\text{год}.$$

## Завдання 2:

Кругова діаграма дугової сталеплавильної печі(ДСП): як вона будується, які показники роботи можна отримати з цієї діаграми.

## Рішення 2:

Кругова діаграма ДСП будується за вихідними даними:

$U_2$  – вторинна напруга пічного трансформатора, В;

$r_{пр}$  – активний опір, приведений до вторинної напруги, мОм;

$x_{пр}$  – реактивний опір, приведений до вторинної напруги, мОм.

Розраховуємо струм короткого замикання  $I_{кз}$  за виразом

$$I_{кз} = \frac{U_2}{\sqrt{3} \sqrt{r_{пр}^2 + x_{пр}^2}}, \text{ кА}.$$

Розраховуємо втрати напруги на активному та реактивному опорах, створювані струмом КЗ за виразами:

$$\Delta U_a = I_{кз} r_{пр}, \text{ В},$$

$$\Delta U_p = I_{кз} x_{пр}, \text{ В}.$$

З точки О променя (рис. 2.4) по горизонталі відкладаємо у масштабі  $\Delta U_p$  і з його кінця вертикально вгору –  $\Delta U_a$ . Гіпотенуза прямокутного трикутника являє собою  $U_{ф}$ ; цією величиною як радіусом із точки О проводимо криву до утворення прямого кута з  $\Delta U_p$ .

Променем, паралельним попередньому, довжиною  $\Delta U_p$  з аналогічним розташуванням кінців променів знаходимо шкалу для струму дуги  $I_d$ , де крайня ліва точка відповідає  $I_d = 0$ , а права –  $I_{кз}$ . Встановлюємо масштаб шкали струмів.

Приймаємо любий струм дуги  $I_d$  і згідно цього струму проводимо вертикальну лінію до перетину з дугою.

Одержимо кругову діаграму ДСП (рис. 2.4).



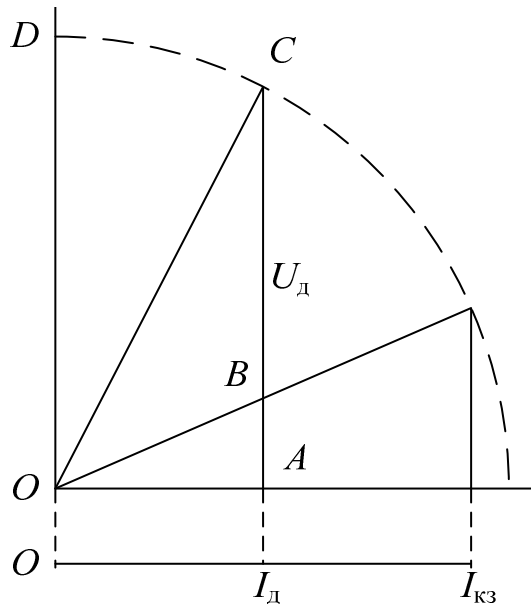


Рис. 2.4. Кругова діаграма дугової сталеплавильної печі

Відрізок  $BC$  дорівнює напрузі дуги  $U_d$ , а кут  $\angle DOC$  дорівнює куту  $\varphi$ , за яким визначається  $\cos \varphi$ . На основі цього можна визначити:

- повну потужність  $S = 3I_d U_\phi$ ;
- активну потужність  $P = S \cos \varphi$ ;
- реактивну потужність  $Q = S \sin \varphi$ ;
- втрату активної потужності  $\Delta P = 3I_{d\text{пр}}^2 r$ ;
- потужність дуги  $P_d = P - \Delta P$ ;
- електричний ККД  $\eta_{el} = P_d / P$ .

### Завдання 3:

Визначити розрахункові (максимальні з імовірністю  $\beta = 0,95$ ) навантаження трансформаторних підстанцій, розрахункове сумарне навантаження та оцінити коефіцієнт одночасності  $k_o$ , як відношення максимального сумарного навантаження до суми максимальних навантажень ТП. Яке значення коефіцієнту одночасності  $k_o$  буде у разі незалежних навантажень підстанцій?

Навести формули, хід розрахунків, аналіз результатів.

### Вихідні дані:

Від лінії міської розподільної мережі отримують електричну енергію дві трансформаторні підстанції, активна потужність яких – корельовано, нормально розподілені випадкові величини з параметрами: математичне сподівання  $m_{Pi}$  та середньоквадратичне відхилення  $\sigma_{Pi}$  значення яких надано у таблиці 2.9.

Таблиця 2.9. Значення математичного сподівання та середньоквадратичного відхилення активної потужності

№ ТП	$m_{Pi}$ , Вт	$\sigma_{Pi}$ , Вт
1	300	100
2	200	80

Імовірнісний зв'язок навантажень ТП визначається коефіцієнтом кореляції  $r_{P_1, P_2}$  значення якого становить  $r_{P_1, P_2} = 0,6$ .

### Довідкові дані:

Довідкові дані надано у таблиці Д2.17.

Таблиця Д2.17. Функція Лапласа

$$\Phi(U) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^U e^{-t^2/2} dt = \frac{1}{2} \operatorname{erf}\left(\frac{U}{\sqrt{2}}\right) = \Phi_u(U) - \frac{1}{2}$$

U	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.0	0.00000	00399	00798	01197	01595	01994	02392	02790	03188	03586
0.1	03983	04380	04776	05172	05567	05962	06356	06749	07142	07535
0.2	07926	08317	08706	09095	09483	09871	10257	10642	11026	11409
0.3	11791	12172	12552	12930	13307	13683	14058	14431	14803	15173
0.4	15542	15910	16276	16640	17003	17364	17724	18082	18439	18793
0.5	19146	19497	19847	20194	20540	20884	21226	21566	21904	22240
0.6	22575	22907	23237	23565	23891	24215	24537	24857	25175	25490
0.7	25804	26115	26424	26730	27035	27337	27637	27935	28230	28524
0.8	28814	29103	29389	29673	29955	30234	30511	30785	31057	31327
0.9	31594	31859	32121	32381	32639	32894	33147	33398	33646	33891
1.0	34134	34375	34614	34850	35083	35314	35543	35769	35993	36214
1.1	36433	36650	36864	37076	37286	37493	37698	37900	38100	38298
1.2	38493	38686	38877	39065	39251	39435	39617	39796	39973	40147
1.3	40320	40490	40653	40824	40983	41149	41308	41466	41621	41774
1.4	41924	42073	42220	42364	42507	42647	42786	42922	43056	43189
1.5	43319	43448	43574	43699	43822	43943	44062	44179	44295	44408
1.6	44520	44630	44738	44845	44950	45053	45154	45254	45352	45449
1.7	45543	45637	45728	45818	45907	45994	46080	46164	46246	46327
1.8	46407	46485	46562	46638	46712	46784	46856	46926	46995	47062
1.9	47128	47193	47257	47320	47381	47441	47500	47558	47615	47670
2.0	47725	47778	47831	47882	47932	47982	48030	48077	48124	48169
2.1	48214	48257	48300	48341	48382	48422	48461	48500	48537	48574
2.2	48610	48645	48679	48713	48745	48778	48809	48840	48870	48899
2.3	48928	48956	48983	49010	49036	49061	49086	49111	49134	49158
2.4	49180	49202	49224	49245	49266	49286	49305	49324	49343	49361
2.5	49379	49396	49413	49430	49446	49461	49477	49492	49506	49520
2.6	49534	49547	49560	49573	49585	49598	49609	49621	49632	49643
2.7	49653	49664	49674	49683	49693	49702	49711	49720	49728	49736
2.8	49744	49752	49760	49767	49774	49781	49788	49795	49801	49807
2.9	49813	49819	49825	49831	49836	49841	49846	49851	49856	49861
3.0	49865									
3.5	4997674									
4.0	4999683									
4.5	4999966									
5.0	4999997133									

### Рішення 3:

Розрахункові (максимальні) навантаження  $P_{i.\max. \beta = 0,95}$  з імовірністю  $\beta$  розраховуємо за формулою

$$P_{i.\max. \beta = 0,95} = m_{P_i} + t_{\beta = 0,95} \sigma_{P_i}, \quad (59)$$

де  $t_{\beta = 0,95} = 1,65$  – імовірнісний коефіцієнт за імовірністю  $\beta = 0,95$ , який знаходимо за таблицею Д2.17 за  $\Phi(u) = 0,95 - 0,5 = 0,45$ .

Одержуємо:

$$P_{1.\max. \beta = 0,95} = 300 + 1,65 \cdot 100 = 465 \text{ кВт},$$

$$P_{2.\max. \beta = 0,95} = 200 + 1,65 \cdot 80 = 332 \text{ кВт}.$$

Оскільки математичне сподівання суми випадкових величин дорівнює сумі математичних сподівань цих величин, математичне сподівання  $m_{P_{\text{сум}}}$  сумарного навантаження лінії складе

$$m_{P_{\text{сум}}} = 300 + 200 = 500 \text{ кВт}.$$

У разі залежних навантажень підстанцій дисперсія суми корельованих випадкових величин дорівнює сумі їх дисперсій плюс подвоєне значення кореляційного моменту цих величин. Оскільки середньоквадратичне відхилення випадкової величини дорівнює кореню квадратному з дисперсії, маємо:

$$\sigma_{P_{\text{сум}}} = [(100^2 + 80^2 + (2 \cdot 0,6 \cdot 100 \cdot 80)]^{0,5} = 161 \text{ кВт}.$$

Тоді:

– розрахункове сумарне навантаження з імовірністю  $\beta = 0,95$ :

$$P_{\text{сум.}\max \beta = 0,95} = 500 + 1,65 \cdot 161 = 766 \text{ кВт} \text{ – формула (59).}$$

– коефіцієнт одночасності:

$$k_o = P_{\text{сум.}\max \beta = 0,95} / (P_{1.\max \beta = 0,95} + P_{2.\max. \beta = 0,95}), \quad (60)$$

$$k_o = 766 / (465 + 332) = 0,96.$$

У разі незалежних навантажень підстанцій:

– середньоквадратичне відхилення  $\sigma$  сумарного навантаження лінії становитиме

$$\sigma_{P_{\text{сум}}} = [(100^2 + 80^2)]^{0,5} = 128 \text{ кВт.}$$

– розрахункове сумарне навантаження з імовірністю  $\beta = 0,95$

$$P_{\text{сум.мах } \beta=0,95} = 500 + 1,65 \cdot 128 = 711 \text{ кВт} \text{ – формула (59).}$$

– коефіцієнт одночасності

$$k_o = 711 / (465 + 332) = 0,89 \text{ – формула (60).}$$

### **Відповідь:**

Розрахункові (максимальні) навантаження становлять:

$$P_{1.\text{мах.}\beta = 0,95} = 465 \text{ кВт,}$$

$$P_{2.\text{мах.}\beta = 0,95} = 332 \text{ кВт,}$$

$$P_{\text{сум.мах } \beta = 0,95} = 766 \text{ кВт.}$$

Коефіцієнт одночасності:  $k_o = 0,96$ .

У разі незалежних навантажень підстанцій:

$$P_{\text{сум.мах } \beta = 0,95} = 711 \text{ кВт; } k_o = 0,89.$$

## БІЛЕТ 3

### Завдання 1:

- 1 Визначити розрахункове навантаження трансформаторної підстанції ТПЗ (рис. 3.1) за умови, що від неї за двопроменевою схемою отримують живлення електроприймачі (ЕП), перелік яких наведено у таблиці 3.1.
- 2 Визначити розрахункове навантаження трансформаторної підстанції ТП4, від якої отримує живлення цех промислового підприємства (рис. 3.1). Дані, необхідні для розрахунків, наведено у таблиці 3.2.
- 3 Вибрати номінальну потужність конденсаторної батареї (КБ), яку встановлюють на шинах 0,4 кВ ТП4 для забезпечення  $\text{tg}\varphi_k = 0,329$ . Скоригувати розрахункове навантаження цієї ТП з урахуванням вибраної КБ.
- 4 Вибрати за технічними критеріями мінімально допустимий переріз кабелю типу АПвП-10 головної ділянки, що живить трансформатори ТП1 – ТП4 (параметри трансформаторів наведено у таблиці Д3.11). Дані, необхідні для розрахунків, наведено у таблиці 3.3.
- 5 Вибрати і перевірити на термічну та електродинамічну стійкості вимикач навантаження ВН з заземлюючими ножами, що встановлений за запобіжником, на стороні високої напруги трансформатора ТП1. На приєднанні центра живлення (ЦЖ) до системи С встановлений вимикач В типу ВМПЕ-10-630-31,5 (рис. 3.1). У розрахунках прийняти ударний коефіцієнт  $K_y = 1,8$ , сталу часу затухання аперіодичного складової струму короткого замикання (КЗ)  $T_a = 0,01$  с, розрахунковий час КЗ  $t_{\text{відк}} = 0,5$  с.
- 6 Розрахувати рівень напруги на шинах 0,4 кВ ТП4 (параметри трансформатора наведено у таблиці Д3.11) за умови, що на шинах 10 кВ ЦЖ підтримується напруга 10,2 кВ. Довжини ділянок ліній 10 кВ наведено у таблиці 3.4.

### Вихідні дані:

Вихідні дані надано у таблицях 3.1 – 3.4 та частково на рис. 3.1.

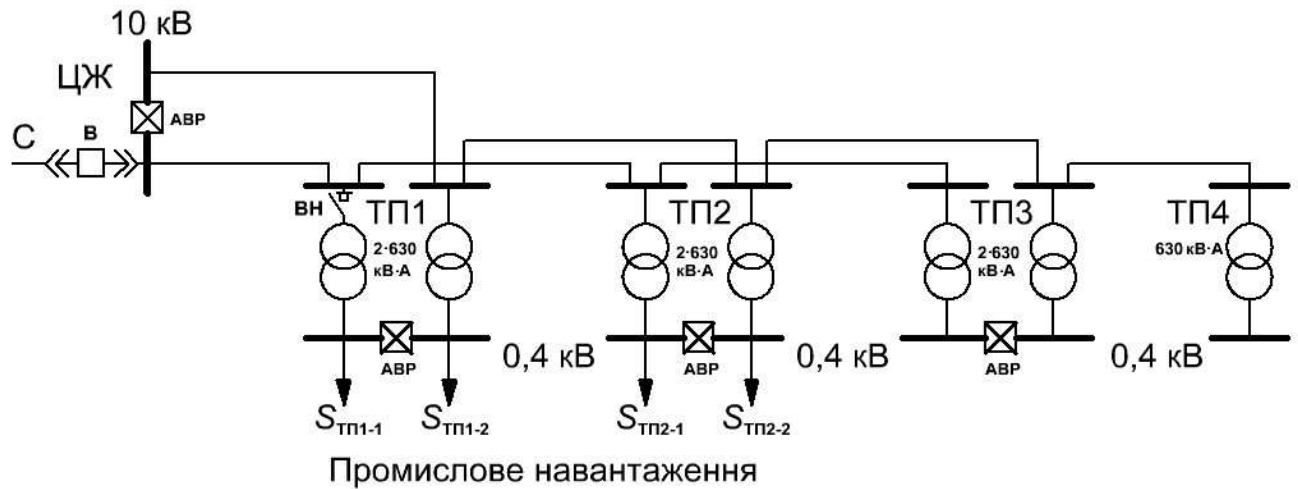


Рис. 3.1. Схема електропостачання

Таблиця 3.1. Перелік електроприймачів, що отримують живлення від трансформаторної підстанції ТП3

Об'єкт	Параметри	Значення параметрів
Житловий будинок із плитами на природному газі без побутових кондиціонерів повітря	Кількість будинків	2
	Кількість поверхів	9
	Кількість секцій	4
	Кількість ліфтів на секцію (номінальна потужність ліфту $P_{н.л.}$ , кВт)	1 пасажирський (6,5)
	Кількість квартир	180
Житловий будинок із електроплитами та побутовими кондиціонерами повітря	Кількість будинків	1
	Кількість поверхів	16
	Кількість секцій	2
	Кількість ліфтів на секцію (номінальна потужність ліфту $P_{н.л.}$ , кВт)	1 пасажирський (6,5) та 1 вантажний (9)
	Кількість квартир	256
Загальноосвітня школа з електрифікованою їдальнею та спортивними залами	Кількість учнів $n_y$	900

Таблиця 3.2. Перелік споживачів, що отримують живлення від трансформаторної підстанції ТП4

Силовий пункт або щит освітлення	Об'єкт	Параметри	Значення параметрів
1	2	3	4
СП1	Вентилятор втяжний	Кількість $n$ , шт	10
		Номинальна потужність $P_n$ , кВт	12
		Коефіцієнт використання $K_B$	0,20
		Коефіцієнт потужності $\cos\phi$	0,80
	Конвеєр	Кількість $n$ , шт	3
		Номинальна потужність $P_n$ , кВт	12,0
		Коефіцієнт використання $K_B$	0,40
СП2	Повітронагрівач	Кількість $n$ , шт	5
		Номинальна потужність $P_n$ , кВт	28
		Коефіцієнт використання $K_B$	0,80
		Коефіцієнт потужності $\cos\phi$	0,92
	Полірувальний станок	Кількість $n$ , шт	14
		Номинальна потужність $P_n$ , кВт	16
		Коефіцієнт використання $K_B$	0,15
СП2	Шліфувальний станок	Кількість $n$ , шт	20
		Номинальна потужність $P_n$ , кВт	6
		Коефіцієнт використання $K_B$	0,25
		Коефіцієнт потужності $\cos\phi$	0,50
	Шліфувальний станок	Кількість $n$ , шт	8
		Номинальна потужність $P_n$ , кВт	24
		Коефіцієнт використання $K_B$	0,25
		Коефіцієнт потужності $\cos\phi$	0,50
	Шліфувальний станок	Кількість $n$ , шт	10
		Номинальна потужність $P_n$ , кВт	6
		Коефіцієнт використання $K_B$	0,25
		Коефіцієнт потужності $\cos\phi$	0,50
	Фрезерний станок	Кількість $n$ , шт	6
		Номинальна потужність $P_n$ , кВт	12
		Коефіцієнт використання $K_B$	0,25
		Коефіцієнт потужності $\cos\phi$	0,50
	Механічний прес	Кількість $n$ , шт	8
		Номинальна потужність $P_n$ , кВт	12
		Коефіцієнт використання $K_B$	0,30
		Коефіцієнт потужності $\cos\phi$	0,70
	Механічний прес	Кількість $n$ , шт	3
		Номинальна потужність $P_n$ , кВт	40
		Коефіцієнт використання $K_B$	0,20
		Коефіцієнт потужності $\cos\phi$	0,85

Закінчення таблиці 3.2

1	2	3	4
СП2	Токарний станок	Кількість $n$ , шт	35
		Номинальна потужність $P_n$ , кВт	5,5
		Коефіцієнт використання $K_b$	0,25
		Коефіцієнт потужності $\cos\varphi$	0,60
ЩО	Освітлювальні установки	Загальна площа цеху $F$ , м <sup>2</sup>	8000
		Питоме навантаження $P_{п.о.}$ , кВт на м <sup>2</sup>	0,025
		Коефіцієнт попиту $K_{п.о.}$	0,95
		Коефіцієнт потужності $\cos\varphi_o$	0,95

Таблиця 3.3. Розрахункове навантаження трансформаторів ТП1 та ТП2

Об'єкт	Параметри	Значення параметрів
Трансформатор 1-1	Розрахункове навантаження $S_{p.1-1}$	425,8
	Коефіцієнт потужності $\cos\varphi_{1-1}$	0,88
Трансформатор 1-2	Розрахункове навантаження $S_{p.1-2}$	478,7
	Коефіцієнт потужності $\cos\varphi_{1-2}$	0,91
Трансформатор 2-1	Розрахункове навантаження $S_{p.2-1}$	469,5
	Коефіцієнт потужності $\cos\varphi_{2-1}$	0,87
Трансформатор 2-2	Розрахункове навантаження $S_{p.2-2}$	433,1
	Коефіцієнт потужності $\cos\varphi_{2-2}$	0,93

Таблиця 3.4. Довжина ділянок лінії 10 кВ

Найменування ділянки лінії	Значення параметру
Довжина лінії між ЦЖ та ТП1 $L_{ЦЖ-ТП1}$ , м	600
Довжина лінії між ТП1 та ТП2 $L_{ТП1-ТП2}$ , м	500
Довжина лінії між ТП2 та ТП3 $L_{ТП2-ТП3}$ , м	500
Довжина лінії між ТП3 та ТП4 $L_{ТП3-ТП4}$ , м	450

**Довідкові дані:**

Довідкові дані надано у таблицях ДЗ.1 – ДЗ.16 та частково на рис. 3.1.

Таблиця ДЗ.1. Питомі розрахункові електричні навантаження жител 1-го роду

Споживачі електроенергії	Значення показника, кВт/житло, за кількості жител						
	24	40	60	100	200	400	600
1.1 Рівень електрифікації I – в будинках з плитами на природному газі	1,65	1,31	1,14	1,00	0,87	0,66	0,60
1.2 Рівень електрифікації II – в будинках з плитами на скрапленому газі та на твердому паливі	2,15	1,70	1,48	1,30	1,12	0,96	0,86
1.3 Рівень електрифікації III – в будинках з електроплитами потужністю до 8,5 кВт включно	2,72	2,35	2,10	1,73	1,38	1,31	1,19
Примітка. Питомі розрахункові навантаження для кількості жител, не зазначеної у таблиці, визначаються інтерполяцією.							



Таблиця ДЗ.2. Коефіцієнти попиту для ліфтових установок

Кількість ліфтових установок	$K_{пл}$ для будинків заввишки	
	до 12 поверхів	12 і більше поверхів
2-3	0,80	0,90
4-5	0,70	0,80
6	0,65	0,75
10	0,50	0,60
20	0,40	0,50
25 і більше	0,35	0,40
Примітка. Коефіцієнт попиту за кількістю ліфтових установок, не вказаної в таблиці, визначається інтерполяцією.		

Таблиця ДЗ.3. Розрахункові коефіцієнти житлових будинків

Лінія живлення	Розрахункові коефіцієнти	
	потужності $\cos\varphi$	реактивного навантаження $\tan\varphi$
Квартири з електричними плитами та без побутових кондиціонерів повітря	0,98	0,20
Квартири з електричними плитами і побутовими кондиціонерами повітря	0,93	0,40
Квартири з плитами на природному, зрідженому газі, на твердому паливі	0,96	0,29
Квартири з плитами на природному, зрідженому газі, твердому паливі та з побутовими кондиціонерами повітря	0,92	0,43
Ліфти	0,65	1,17

Таблиця ДЗ.4. Питомі електричні навантаження та розрахункові коефіцієнти будинків та споруд (приміщень) громадського призначення

Об'єкти будівництва	Одиниця вимірювання	Питоме навантаження	Розрахункові коефіцієнти	
			потужності $\cos\varphi$	реактивного навантаження $\tan\varphi$
1	2	3	4	5
Підприємства громадського харчування:	кВт на місце	1,03	0,98	0,20
а) повністю електрифіковані з кількістю посадочних місць до 500 включно;				
б) з кількістю місць понад 500 до 1000 включно;				
в) з кількістю місць понад 1000;				
г) частково електрифіковані (з плитами на газовому паливі) з кількістю місць до 500 включно;				
д) з кількістю місць понад 500 до 1000 включно;				
е) з кількістю місць понад 1000		0,60	0,95	0,33

*Закінчення таблиці ДЗ.4*

1	2	3	4	5
Підприємства роздрібної торгівлі: а) продовольчі без кондиціонування повітря;	кВт на м <sup>2</sup> торгової зали	0,23	0,85	0,62
б) продовольчі з кондиціонуванням повітря;		0,25	0,80	0,75
в) промтоварні без кондиціонування повітря;		0,14	0,85	0,62
г) промтоварні з кондиціонуванням повітря;		0,15	0,80	0,75
д) універсами без кондиціонування повітря;		0,15	0,87	0,57
е) універсами з кондиціонуванням повітря		0,20	0,85	0,62
Загальноосвітні школи: а) з електрифікованими їдальнями та спортзалами;	кВт на одного учня	0,25	0,95	0,33
б) без електрифікованих їдалень, із спортзалами;		0,17	0,90	0,48
в) з буфетами, без спортзалів;		0,17	0,90	0,48
г) без буфетів і спортзалів		0,15	0,90	0,48
Дошкільні навчальні заклади: а) з електрифікованими харчоблоками;	кВт на місце	0,45	0,98	0,20
б) з газовими плитами		0,20		
Професійно-технічні навчальні заклади з їдальнями	кВт на одного учня	0,45	0,8-0,92	0,75-0,48
Школи-інтернати		1,10	0,95	0,33
Будинки-інтернати для інвалідів та людей похилого віку		2,20	0,93	0,40

*Таблиця ДЗ.6. Коефіцієнти суміщення максимумів навантажень трансформаторів*

Характеристика навантаження	Коефіцієнт суміщення максимумів навантажень трансформаторів залежно від їх кількості				
	2	3-5	6-10	11-20	20
Житлова забудова (70 % і більше - навантаження житлових будинків, до 30 % - навантаження громадських будівель).	0,9	0,85	0,8	0,75	0,7
Громадська забудова (70 % і більше - навантаження громадських будівель і до 30 % - навантаження житлових будинків).	0,9	0,75	0,7	0,65	0,6
Комунально-промислові зони (65 % і більше - навантаження промислових і громадських споруд і до 35 % - навантаження житлових будинків)	0,9	0,7	0,65	0,6	0,5

Таблиця ДЗ.5. Коефіцієнти участі в максимумі навантаження

Назва будівлі (приміщення) з найбільшим розрахунковим навантаженням	Житлові будинки з електроплитами	Житлові будинки з газовими плитами або на твердому паливі	Заклади громадського харчування - їдальні	Заклади громадського харчування – ресторани, кафе	Загальноосвітні школи, ПТУ	Торгові підприємства однозмінні	Торгові підприємства півтора- та двозмінні	Дошкільні навчальні заклади
Житлові будинки з електроплитами	-	0,9	0,6	0,7	0,4	0,6	0,8	0,4
Житлові будинки з газовими плитами або на твердому паливі	0,9	-	0,6	0,7	0,3	0,5	0,8	0,4
Підприємства громадського харчування (їдальні, ресторани, кафе)	0,4	0,4	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Школи, середні навчальні заклади, ПТУ, бібліотеки	0,5	0,4	0,8	0,6	0,7	0,8	0,8	0,8
Торгові підприємства одно-, півтора- та двозмінні	0,5	0,4	0,8	0,6	0,7	0,8	0,8	0,8

Таблиця ДЗ.7. Значення коефіцієнтів розрахункового навантаження  $K_p$  для живлячих мереж і розподільних шинопроводів напругою до 1 кВ

		Коефіцієнт використання $K_v$							
		0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Ефективна кількість електроприймачів $n_e$	2	8	5,3	4	2,66	2	1,6	1,33	1,14
	3	4,52	3,2	2,55	1,9	1,56	1,41	1,28	1,14
	4	3,42	2,47	2	1,53	1,3	1,24	1,14	1,08
	5	2,84	2,1	1,78	1,34	1,16	1,15	1,08	1,03
	6	2,64	1,96	1,62	1,28	1,14	1,12	1,06	1,01
	7	2,5	1,86	1,54	1,25	1,12	1,1	1,04	1
	8	2,37	1,78	1,48	1,19	1,1	1,08	1,02	1
	9	2,26	1,7	1,43	1,16	1,08	1,07	1,01	1
	10	2,18	1,65	1,39	1,13	1,06	1,05	1	1
	11	2,1	1,6	1,35	1,1	1,05	1,04	1	1
	12	2,04	1,56	1,32	1,08	1,04	1,03	1	1
	13	1,98	1,52	1,29	1,06	1,03	1,02	1	1
	14	1,93	1,49	1,27	1,05	1,02	1,01	1	1
	15	1,9	1,46	1,25	1,03	1,01	1	1	1
	16	1,85	1,43	1,23	1,02	1	1	1	1
	17	1,81	1,4	1,2	1	1	1	1	1

Закінчення таблиці ДЗ.7

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ефективна кількість електроприймачів $n_e$	18	1,78	1,38	1,19	1	1	1	1
	19	1,75	1,36	1,17	1	1	1	1
	20	1,72	1,34	1,16	1	1	1	1
	21	1,7	1,33	1,15	1	1	1	1
	22	1,66	1,31	1,13	1	1	1	1
	23	1,65	1,29	1,12	1	1	1	1
	24	1,62	1,28	1,11	1	1	1	1
	25	1,6	1,27	1,1	1	1	1	1
	30	1,51	1,21	1,05	1	1	1	1
	35	1,44	1,16	1	1	1	1	1
	40	1,4	1,13	1	1	1	1	1
	45	1,35	1,1	1	1	1	1	1
	50	1,3	1,07	1	1	1	1	1
	60	1,25	1,03	1	1	1	1	1
	70	1,2	1	1	1	1	1	1
	80	1,16	1	1	1	1	1	1
	90	1,13	1	1	1	1	1	1
	100	1,1	1	1	1	1	1	1

Таблиця ДЗ.8. Значення коефіцієнтів розрахункового навантаження  $K_p$  для шин НН цехових трансформаторів і магістральних шинопроводів напругою до 1 кВ

		Коефіцієнт використання $K_B$							
		0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
Ефективна кількість електроприймачів $n_e$	2	5,01	3,44	2,69	1,9	1,52	1,24	1,11	1
	3	2,94	2,17	1,8	1,42	1,23	1,14	1,08	1
	4	2,28	1,73	1,46	1,19	1,06	1,04	1	0,97
	5	1,31	1,12	1,02	1	0,98	0,96	0,94	0,93
	8	1,2	1	0,96	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91
	10	1,1	0,97	0,91	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
	25	0,8	0,8	0,8	0,85	0,85	0,85	0,9	0,9
	50	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,85	0,85
	Більше 50	0,65	0,65	0,65	0,7	0,7	0,7	0,8	0,8

*Таблиця ДЗ.9.* Технічні характеристики трижильних кабелів марки АПвП з алюмінієвими жилами з ізоляцією з шитого поліетилену, з зовнішньою оболонкою з поліетилену або сополімера поліетилену, на номінальну напругу 10 кВ

Кількість та номінальний переріз жил, мм <sup>2</sup>	Опір жил, Ом/км		Допустиме струмове навантаження, А	
	Активний	Індуктивний	У повітрі	У землі
3×35	0,868	0,095	132	119
3×50	0,641	0,090	158	140
3×70	0,443	0,086	196	171
3×95	0,320	0,083	236	203
3×120	0,253	0,081	273	232
3×150	0,206	0,079	309	260
3×185	0,164	0,077	355	294
3×240	0,125	0,075	415	340

*Таблиця ДЗ.10.* Технічні характеристики чотирижильних кабелів марки АВВГ із алюмінієвими жилами з полівінілхлоридною ізоляцією та зовнішньою оболонкою, на номінальну напругу до 1000 В

Кількість та номінальний переріз жил, мм <sup>2</sup>	Опір жил, Ом/км		Допустиме струмове навантаження, А	
	Активний	Індуктивний	У землі	У повітрі
4×2,5	12,1	0,104	26	19
4×4	7,41	0,095	34	27
4×6	5,11	0,090	41	34
4×10	3,08	0,073	55	46
4×16	1,91	0,0675	72	62
4×25	1,20	0,0662	93	82
4×35	0,868	0,0637	112	101
4×50	0,641	0,0625	137	126
4×70	0,443	0,0612	165	155
4×95	0,320	0,0602	197	190
4×120	0,253	0,0602	224	219
4×150	0,206	0,0596	254	254
4×185	0,164	0,0596	286	291
4×240	0,125	0,0587	330	343

*Таблиця ДЗ.11.* Технічні характеристики силових трансформаторів ТМ

Потужність S, кВ·А	Номінальна напруга		Потужність короткого замикання P <sub>к</sub> , Вт	Потужність неробочого ходу P <sub>н.х</sub> , Вт	Напруга короткого замикання u <sub>к</sub> , %	Струм неробочого ходу I <sub>н.х</sub> , %
	на високій стороні U <sub>вн</sub> , кВ	на низькій стороні U <sub>нн</sub> , кВ				
100	10	0,4	1970	305	4,5	2,2
160	10	0,4	2650	460	4,5	2
250	10	0,4	3700	560	4,5	1,9
400	10	0,4	5500	830	4,5	1,5
630	10	0,4	7600	1050	5,5	1,8
1000	10	0,4	10800	1550	5,5	1,2

Таблиця ДЗ.12. Коефіцієнт  $K_1$  для кабельних ліній

Умови прокладання	Температура, °C									
	-5	0	+5	+10	+15	+20	+25	+30	+35	+40
У землі	1,13	1,1	1,06	1,03	1,0	0,97	0,93	0,89	0,86	0,82
У повітрі	1,21	1,18	1,14	1,11	1,07	1,04	1,0	0,96	0,92	0,88

Таблиця ДЗ.13. Коефіцієнт  $K_2$ , який враховує кількість паралельно працюючих кабелів

Відстань між кабелями, см	Кількість кабелів				
	2	3	4	5	6
10	0,9	0,85	0,8	0,78	0,75
20	0,92	0,87	0,84	0,82	0,81

Таблиця ДЗ.14. Коефіцієнт допустимого перевантаження  $K_3$  кабельної лінії у післяаварійному режимі

Початкове значення коефіцієнта завантаження	Спосіб прокладання	Тривалість перевантаження, год		
		1,5	3,0	6,0
0,6	У землі	1,5	1,35	1,25
	У повітрі	1,35	1,25	1,2
	У трубах	1,3	1,2	1,15
0,8	У землі	1,35	1,25	1,25
	У повітрі	1,3	1,2	1,2
	У трубах	1,2	1,15	1,1

Таблиця ДЗ.15. Технічні характеристики вимикачів навантаження ВНР та ВНА, ВНРп та ВНАп

Найменування параметра	Значення параметра	
	ВНР-10/400(630)-10з ВНРп-10/400(630)-10з ВНРп-10/400(630)-10зп	ВНА-10/400(630)-20з ВНАп-10/400(630)-20з ВНАп-10/400(630)-20зп
Номинальна напруга $U_n$ , кВ	10	10
Найбільша робоча напруга $U_p$ , кВ	12	12
Номинальний струм $I_n$ , А	400(630)	400(630)
Номинальний струм відмикання за $\cos\varphi \geq 0,7$ , А	400(630)	400(630)
Найбільший струм (струм електродинамічної стійкості) $i_{дин}$ , кА	25	51
Номинальне початкове значення періодичного складника струму КЗ $I_{н.відк}$ , кА	10	20
Середньоквадратичне значення струму за час його протікання $t_T = 1$ с (струм термічної стійкості) $I_T$ , кА	10	20

Таблиця ДЗ.16 . Комплектні конденсаторні установки номінальною напругою 400 В ЗАТ "Сілкон-Квар", м. Київ

Тип та номінальні дані	Потужність, кВт·Ар	Ступінь регулювання, кВт·Ар	Відпускна ціна, грн	Габаритні розміри, мм
УКРП-0.4-45-5УЗ	45	5	5940	800×600×300
УКРП-0.4-50-10УЗ	50	10	6318	800×600×300
УКРП-0.4-55-5УЗ	55	5	6480	800×600×300
УКРП-0.4-60-10УЗ	60	10	6588	800×600×300
УКРП-0.4-70-10УЗ	70	10	7128	800×600×300
УКРП-0.4-80-10УЗ	80	10	8100	800×600×300
УКРП-0,4-90-10УЗ	90	10	9720	1200×600×300
УКРП-0,4-100-10УЗ	100	10	12420	1200×600×300

### Рішення 1:

1 Визначаємо розрахункове навантаження трансформаторної підстанції ТПЗ за умови, що від неї за двопроменевою схемою отримують живлення електроприймачі.

1.1 Знаходимо розрахункове активне навантаження окремих житлових будинків з квартирами  $i$ -го рівня електрифікації, приймаючи його рівним максимальному навантаженню, за виразом

$$P_{р.ж.б.i} = P_{м.ж.б.i} = P_{р.кв.i} + 0,9P_{р.л.i}, \quad (1)$$

де  $P_{р.кв.i}$  – розрахункове активне навантаження квартир  $i$ -го рівня електрифікації;

$P_{р.л.i}$  – розрахункове активне навантаження ліфтів  $i$ -го рівня електрифікації.

Величину  $P_{р.кв.i}$  будинку  $i$ -го рівня електрифікації знаходимо за формулою

$$P_{р.кв.i} = P_{п.кв.i} n_{кв.i}, \quad (2)$$

де  $P_{п.кв.i}$  – питоме розрахункове активне навантаження квартири в будинку  $i$ -го рівня електрифікації;

$n_{кв.i}$  – кількість квартир в будинку  $i$ -го рівня електрифікації.

Величини  $P_{п.кв.i}$  знаходимо за таблицею ДЗ.1.

Маємо:

- квартири рівня електрифікації I:  $P_{п.кв.1} = 1,00$  кВт/кв, якщо  $n_{кв.1} = 100$  кв;  $P_{п.кв.2} = 0,87$  кВт/кв, якщо  $n_{кв.2} = 200$  кв;
- квартири рівня електрифікації III:  $P_{п.кв.1} = 1,73$  кВт/кв, якщо  $n_{кв.1} = 100$  кв;  $P_{п.кв.2} = 1,38$  кВт/кв, якщо  $n_{кв.2} = 200$  кв.

Фактичні питомі активні навантаження  $P_{п.кв.ф.i}$  знаходимо інтерполяцією за виразом

$$P_{п.кв.ф.i} = P_{п.кв.1} + \frac{P_{п.кв.2} - P_{п.кв.1}}{n_{кв.2} - n_{кв.1}} (n_{кв.ф.i} - n_{кв.1}), \quad (3)$$

де  $n_{кв.ф.i}$  – фактична кількість квартир в будинку  $i$ -го рівня електрифікації.

Маємо:

$$P_{п.кв.ф.газ} = 1 + \frac{0,87 - 1}{200 - 100} \left( \frac{2 \cdot 180}{2} - 100 \right) = 0,896 \text{ кВт/кв},$$

$$P_{п.кв.ф.ел} = 1,73 + \frac{1,38 - 1,73}{200 - 100} \left( \frac{256}{2} - 100 \right) = 1,632 \text{ кВт/кв}.$$

Підставивши у формулу (2) значення  $P_{п.кв.ф.газ} = 0,896$  кВт/кв,  $P_{п.кв.ф.ел} = 1,632$  кВт/кв і  $n_{кв.ф.i}$ , знаходимо:

$$P_{р.кв.газ} = \frac{2 \cdot 180}{2} \cdot 0,896 = 161,280 \text{ кВт},$$

$$P_{р.кв.ел} = \frac{256}{2} \cdot 1,632 = 208,900 \text{ кВт}.$$

Розрахункове реактивне навантаження квартир  $Q_{р.кв}$  знаходимо за формулою

$$Q_{р.кв.i} = P_{р.кв.i} \operatorname{tg} \varphi_i, \quad (4)$$

де  $\operatorname{tg} \varphi_i$  – коефіцієнт реактивної потужності квартир в будинку  $i$ -го рівня електрифікації.

Величини  $\operatorname{tg} \varphi_{газ} = 0,29$ ,  $\operatorname{tg} \varphi_{ел} = 0,4$  знаходимо за таблицею ДЗ.3.

Маємо:

$$Q_{р.кв.газ} = 161,28 \cdot 0,29 = 46,800 \text{ кВ} \cdot \text{Ар},$$

$$Q_{р.кв.ел} = 208,9 \cdot 0,4 = 83,600 \text{ кВ} \cdot \text{Ар}.$$



Знаходимо розрахункове активне навантаження ліфтів за виразом

$$P_{р.л.i} = P_{н.л.i} n_{л.i} K_{п.л.i}, \quad (5)$$

де  $P_{н.л.i}$  – номінальна активна потужність одного ліфта у будинку  $i$ -го рівня електрифікації;

$n_{л.i}$  – кількість ліфтів в будинку  $i$ -го рівня електрифікації;

$K_{п.л.i}$  – коефіцієнт попиту ліфтів в будинку  $i$ -го рівня електрифікації.

Величини  $K_{п.л.i}$  знаходимо за таблицею ДЗ.2. Маємо:  $K_{п.л.газ} = 0,7$ ,  
 $K_{п.л.ел} = 0,9$ .

За виразом (5) одержуємо:

$$P_{р.л.газ} = \frac{2 \cdot 4}{2} \cdot 6,5 \cdot 0,7 = 18,200 \text{ кВт},$$

$$P_{р.л.ел} = \frac{2}{2} (6,5 + 9) \cdot 0,9 = 14,000 \text{ кВт}.$$

Знаходимо розрахункове реактивне навантаження ліфтів за виразом

$$Q_{р.л.i} = P_{р.л.i} \operatorname{tg} \varphi_{л.i}, \quad (6)$$

де  $\operatorname{tg} \varphi_{л.i}$  – коефіцієнт реактивної потужності ліфтів.

Величину  $\operatorname{tg} \varphi_{л.i} = 1,17$  знаходимо за таблицею ДЗ.3.

Маємо:

$$Q_{р.л.газ} = 18,2 \cdot 1,17 = 21,300 \text{ кВ}\cdot\text{Ар},$$

$$Q_{р.кв.ел} = 14 \cdot 1,17 = 16,300 \text{ кВ}\cdot\text{Ар}.$$

Знаходимо розрахункові навантаження житлових будинків.

Розрахункові активні навантаження знаходимо за виразом (1):

$$P_{р.ж.б.газ} = 161,3 + 0,9 \cdot 18,2 = 177,700 \text{ кВт},$$

$$P_{р.ж.б.ел} = 208,9 + 0,9 \cdot 14 = 221,500 \text{ кВт}.$$

Розрахункові реактивні навантаження знаходимо за виразом, аналогічним (1):

$$Q_{р.ж.б.газ} = 46,8 + 0,9 \cdot 21,3 = 65,900 \text{ кВ}\cdot\text{Ар},$$

$$Q_{р.ж.б.ел} = 83,6 + 0,9 \cdot 16,3 = 98,200 \text{ кВ}\cdot\text{Ар}.$$

1.2 Знаходимо розрахункове активне навантаження школи з електрифікованою їдальнею та спортзалом методом питомого навантаження за спрощеним виразом

$$P_{\text{р.ш}} = P_{\text{п.ш}} n_y, \quad (7)$$

де  $P_{\text{п.ш}}$  – питоме навантаження школи;

$n_y$  – кількість учнів.

Величину  $P_{\text{п.ш}}$  знаходимо за таблицею ДЗ.4.

Підставивши у формулу (7) значення  $P_{\text{п.ш}} = 0,25$  кВт на учня і  $n_y$ , знаходимо:

$$P_{\text{р.ш}} = 0,25 \cdot 900 = 112,500 \text{ кВт.}$$

Розрахункове реактивне навантаження школи  $Q_{\text{р.ш}}$  знаходимо за формулою

$$Q_{\text{р.ш}} = P_{\text{р.ш}} \operatorname{tg} \varphi_{\text{ш}}, \quad (8)$$

де  $\operatorname{tg} \varphi_{\text{ш}}$  – коефіцієнт реактивної потужності школи.

Величину  $\operatorname{tg} \varphi_{\text{ш}} = 0,33$  знаходимо за таблицею ДЗ.4.

Маємо:

$$Q_{\text{р.ш}} = 112,5 \cdot 0,33 = 37,100 \text{ кВ} \cdot \text{Ар.}$$

1.3 Знаходимо розрахункові навантаження на шинах 0,4 кВ ТПЗ.

Розрахункове активне навантаження знаходимо за виразом

$$P_{\text{р.0,4ТПЗ}} = P_{\text{р.мах}} + \sum_{k=1}^m P_{\text{р.к}} K_k, \quad (9)$$

де  $P_{\text{р.к}}$  – розрахункове навантаження  $k$ -ї споруди;

$K_k$  – коефіцієнти, що враховують частку навантажень  $k$ -ї споруди у загальному розрахунковому навантаженні;

$m$  – кількість будинків, що живляться від ТПЗ, окрім споруди з  $P_{\text{р.мах}}$ .

Розрахункове реактивне навантаження знаходимо за виразом, аналогічним (9).

Маємо:

$$P_{\text{р.мах}} = 221,500 \text{ кВт, } Q_{\text{р.мах}} = 98,200 \text{ кВ} \cdot \text{Ар.}$$

За таблицею Д3.5:  $K_1 = 0,9$  для  $P_{р.ж.б.газ} = 177,7$  кВт;  $K_2 = 0,4$  для  $P_{р.ш} = 112,5$  кВт;  $K_1 = 0,9$  для  $Q_{р.ж.б.газ} = 65,9$  кВ·Ар;  $K_2 = 0,4$  для  $Q_{р.ш} = 37,1$  кВ·Ар.

Розрахункові електричні навантаження на шинах 0,4 кВ ТПЗ:

$$P_{р.0,4ТПЗ} = 221,5 + 0,9 \cdot 177,7 + 0,4 \cdot 112,5 = 426,345 \text{ кВт},$$

$$Q_{р.0,4ТПЗ} = 98,2 + 0,9 \cdot 65,9 + 0,4 \cdot 37,1 = 172,440 \text{ кВ·Ар}.$$

Розрахункову повну потужність знаходимо за виразом

$$S_{р.0,4ТПЗ} = \sqrt{P_{р.0,4ТПЗ}^2 + Q_{р.0,4ТПЗ}^2}, \quad (10)$$

$$S_{р.0,4ТПЗ} = \sqrt{426,345^2 + 172,44^2} = 459,897 \text{ кВ·А}.$$

Знаходимо коефіцієнти потужності та реактивного навантаження ТПЗ за виразами

$$\cos\varphi_{ТПЗ} = \frac{P_{р.0,4ТПЗ}}{S_{р.0,4ТПЗ}}, \quad (11)$$

$$\operatorname{tg}\varphi_{ТПЗ} = \frac{Q_{р.0,4ТПЗ}}{P_{р.0,4ТПЗ}}, \quad (12)$$

Одержуємо:

$$\cos\varphi_{ТПЗ} = \frac{426,345}{459,897} = 0,927,$$

$$\operatorname{tg}\varphi_{ТПЗ} = \frac{172,44}{426,345} = 0,404.$$

2 Знаходимо розрахункове навантаження трансформаторної підстанції ТП4, від якої отримує живлення цех промислового підприємства (розрахунок наведено в таблиці 3.5).

*Примітка:*

Втрати  $\Delta P_{тр}$ ,  $\Delta Q_{тр}$  знайдене за наближеними формулами

$$\Delta P_{тр} = 0,02 S_{р.0,4}, \quad (13)$$

$$\Delta Q_{тр} = 0,1 S_{р.0,4}, \quad (14)$$

де  $S_{р.0,4}$  – розрахункова повна потужність на шинах 0,4 кВ ТП1.

Таблиця 3.5. Розрахунок електричних навантажень цеху

Вихідні дані										Проміжні потужності		$n_{p.e}$	$n_e$	$K_p$	Розрахункові потужності			Розрахунковий струм $I_p, A$
За умовою						Довідникові			$P_p, \text{кВт}$						$Q_p, \text{кВ}\cdot\text{Ар}$	$S_p, \text{кВ}\cdot\text{А}$		
Найменування ЕП	$n, \text{од}$	Номінальна потужність, кВт				$\frac{P_{n.i.\text{max}}}{P_{n.i.\text{min}}}$	$K_b$	$\cos\varphi$		$\text{tg}\varphi$								
		$P_{n.i}$	$P_{n\Sigma}$	$P_{n.i.\text{max}}$	$P_{n.i.\text{min}}$													
Вентилятор витяжний	10	12,0	120,0				0,20	0,80	0,75	24,0	18,0							
Конвеєр	3	12,0	36,0				0,40	0,70	1,02	14,4	14,7							
Повітронагрівач	5	28,0	140,0				0,80	0,92	0,43	112,0	48,2							
Полірувальний верстат	14	16,0	224,0				0,15	0,50	1,73	33,6	58,1							
Шліфувальний станок	20	6,0	120,0				0,25	0,50	1,73	30,0	51,9							
Шліфувальний верстат	8	24,0	192,0				0,25	0,50	1,73	48,0	83,0							
СП 1	60		832,0	28,0	6,0	4,67	0,315			262,0	273,9	59,4	59	1,000	262,0	273,9	379,0	576
Шліфувальний верстат	10	6,0	60,0				0,25	0,50	1,73	15,0	26,0							
Шліфувальний верстат	6	12,0	72,0				0,25	0,50	1,73	18,0	31,1							
Фрезерний верстат	10	6,2	62,0				0,30	0,70	1,02	18,6	19,0							
Фрезерний верстат	8	12,0	96,0				0,30	0,70	1,02	28,8	29,4							
Механічний прес	3	40,0	120,0				0,20	0,85	0,62	24,0	14,9							
Токарний верстат	35	5,5	192,5				0,25	0,60	1,33	48,1	64,0							
СП 2	72		602,5	40,0	5,5	7,27	0,253			152,5	184,3	30,1	30	1,000	152,5	184,3	239,2	363
СП 1 + СП 2	132		1434,5	40,0	5,5	7,27	0,289			414,5	458,2	71,7	72	0,694	287,881	318,241	429,130	651,996
ЩО														190,000	62,700	200,078	200,078	303,987
Шини 0,4 кВ ТП4							0,78							477,881	380,941	611,135	611,135	928,524
$\Delta P_{\text{тр}}, \Delta Q_{\text{тр}}$														12,223	61,114			
На боці 10 кВ ТП4														490,104	442,054	660,010	660,010	38,106

3 Вибираємо номінальну потужність конденсаторної батареї (КБ), яку встановлюють на шинах 0,4 кВ ТП4 за умови забезпечення  $\text{tg}\varphi = 0,329$ .

Знаходимо повну розрахункову потужність промислового навантаження після компенсації реактивної потужності з  $\text{tg}\varphi = 0,329$  ( $\cos\varphi = 0,95$ ) за виразом

$$S'_{p,0,4\text{ТП4}} = \frac{P_{p,0,4\text{ТП4}}}{\cos\varphi}. \quad (15)$$

Маємо:

$$S'_{p,0,4\text{ТП4}} = \frac{477,881}{0,95} = 503,033 \text{ кВ}\cdot\text{А}.$$

Знаходимо реактивну розрахункову потужність промислового навантаження, яка залишиться після компенсації реактивної потужності з  $\text{tg}\varphi = 0,329$  за формулою

$$Q'_{p,0,4\text{ТП4}} = \sqrt{S'^2_{p,0,4\text{ТП4}} - P^2_{p,0,4\text{ТП4}}}. \quad (16)$$

Маємо:

$$Q'_{p,\text{ТП4}} = \sqrt{503,033^2 - 477,881^2} = 157,072 \text{ кВ}\cdot\text{Ар}.$$

Розрахуємо реактивну потужність, яку необхідно компенсувати за виразом

$$Q_{p,\text{КБ}} = Q'_{p,\text{ТП4}} - Q_{\text{до ком.р.ТП4}}. \quad (17)$$

Маємо:

$$Q_{p,\text{КБ}} = 380,941 - 157,072 = 223,869 \text{ кВ}\cdot\text{Ар}.$$

Вибираємо згідно таблиці Д3.16 три конденсаторні батареї: УКРП-0,4-100-10УЗ, УКРП-0,4-70-10УЗ, УКРП-0,4-55-10УЗ загальною потужністю  $Q_{\text{КБ}} = 225 \text{ кВ}\cdot\text{Ар}$ .

Скоригуємо розрахункове навантаження з урахуванням вибраної КБ

$$S_{p,\text{ТП4}} = \sqrt{P^2_{p,\text{ТП4}} + (Q'_{p,\text{ТП4}} - Q_{\text{КБ}})^2}. \quad (18)$$

Маємо:

$$S_{p,\text{ТП4}} = \sqrt{477,881^2 + (380,941 - 225)^2} = 502,681 \text{ кВ}\cdot\text{А}.$$

4 Вибираємо мінімально допустимий із технічних міркувань переріз кабелю типу АПвП-10 головної ділянки, що живить трансформатори ТП1 – ТП4.

Знаходимо розрахункові активне та реактивне навантаження на боці 10 кВ кожної  $i$ -ї ТП за відповідними формулами

$$P_{p.10ТПi} = P_{p.0,4ТПi} + \Delta P_{т.і}, \quad (19)$$

$$Q_{p.10ТПi} = Q_{p.0,4ТПi} + \Delta Q_{т.і}, \quad (20)$$

де  $\Delta P_{т.і}$ ,  $\Delta Q_{т.і}$ , – втрати активної та реактивної потужностей у  $i$ -му силовому трансформаторі ТМ-630/10.

Величини  $\Delta P_{т.і}$  та  $\Delta Q_{т.і}$  знаходимо за формулами

$$\Delta P_{т.і} = P_{н.х} + \left( \frac{S_{p.і}}{S_{н.тр}} \right)^2 P_{к}, \quad (21)$$

$$\Delta Q_{т.і} = \frac{S_{н.тр}}{100} \left[ I_{н.х} + \left( \frac{S_{p.і}}{S_{н.тр}} \right)^2 u_{к} \right], \quad (22)$$

Величини  $P_{н.х}$ ,  $P_{к}$ ,  $I_{нх}$  та  $u_{к}$  знаходимо за таблицею Д3.11.

Маємо:

$$\Delta P_{т.1} = 1,05 + \left( \frac{425,8}{630} \right)^2 7,6 = 4,522 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_{т.1} = \frac{630}{100} \left[ 1,8 + \left( \frac{425,8}{630} \right)^2 5,5 \right] = 27,168 \text{ кВ} \cdot \text{Ар},$$

$$\Delta P_{т.2} = 1,05 + \left( \frac{478,7}{630} \right)^2 7,6 = 5,438 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_{т.2} = \frac{630}{100} \left[ 1,8 + \left( \frac{478,7}{630} \right)^2 5,5 \right] = 31,345 \text{ кВ} \cdot \text{Ар},$$

$$\Delta P_{т.3} = 1,05 + \left( \frac{469,6}{630} \right)^2 7,6 = 5,271 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_{т.3} = \frac{630}{100} \left[ 1,8 + \left( \frac{469,6}{630} \right)^2 5,5 \right] = 31,035 \text{ кВ} \cdot \text{Ар},$$

$$\Delta P_{\tau.4} = 1,05 + \left( \frac{433,1}{630} \right)^2 7,6 = 4,642 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_{\tau.4} = \frac{630}{100} \left[ 1,8 + \left( \frac{433,1}{630} \right)^2 5,5 \right] = 27,716 \text{ кВт} \cdot \text{Ар},$$

$$\Delta P_{\tau.5} = \Delta P_{\tau.6} = 1,05 + \left( \frac{459,897}{630} \right)^2 7,6 = 5,100 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_{\tau.5} = \Delta Q_{\tau.6} = \frac{630}{100} \left[ 1,8 + \left( \frac{459,897}{630} \right)^2 5,5 \right] = 29,805 \text{ кВт} \cdot \text{Ар},$$

$$\Delta P_{\tau.7} = 1,05 + \left( \frac{502,681}{630} \right)^2 7,6 = 5,889 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_{\tau.7} = \frac{630}{100} \left[ 1,8 + \left( \frac{502,681}{630} \right)^2 5,5 \right] = 33,400 \text{ кВт} \cdot \text{Ар}.$$

Підставивши величини  $\Delta P_{\tau.i}$  та  $\Delta Q_{\tau.i}$  у формули (19), (20) отримаємо:

$$P_{\text{р.10ТП1-1}} = 425,8 \cdot 0,88 + 4,522 = 379,226 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{р.10ТП1-1}} = 425,8 \cdot \sin(\arccos 0,88) + 27,542 = 229,412 \text{ кВт} \cdot \text{Ар},$$

$$P_{\text{р.10ТП1-2}} = 478,7 \cdot 0,91 + 5,438 = 441,055 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{р.10ТП1-2}} = 478,7 \cdot \sin(\arccos 0,91) + 31,345 = 229,818 \text{ кВт} \cdot \text{Ар},$$

$$P_{\text{р.10ТП2-1}} = 469,5 \cdot 0,87 + 5,271 = 413,736 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{р.10ТП2-1}} = 469,5 \cdot \sin(\arccos 0,87) + 30,585 = 262,072 \text{ кВт} \cdot \text{Ар},$$

$$P_{\text{р.10ТП2-2}} = 433,1 \cdot 0,93 + 4,642 = 407,425 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{р.10ТП2-2}} = 433,1 \cdot \sin(\arccos 0,93) + 27,716 = 186,906 \text{ кВт} \cdot \text{Ар},$$

$$P_{\text{р.10ТП3-1}} = P_{\text{р.10ТП3-2}} = 426,345 + 5,1 = 431,445 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{р.10ТП3-1}} = Q_{\text{р.10ТП3-2}} = 172,44 + 29,805 = 202,245 \text{ кВт} \cdot \text{Ар},$$

$$P_{\text{р.10ТП4}} = 477,881 + 5,889 = 483,770 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{р.10ТП4}} = 155,941 + 33,4 = 189,341 \text{ кВт} \cdot \text{Ар}.$$

Знаходимо активне та реактивне розрахункові навантаження секції збірних шин ЦЖ за виразами

$$P_{p.ЦЖ} = K_{см.т} (P_{p.10ТП1-1} + P_{p.10ТП1-2} + P_{p.10ТП2-1} + P_{p.10ТП2-2} + P_{p.10ТП3-1} + P_{p.10ТП3-2} + P_{p.10ТП4}), \quad (23)$$

$$Q_{p.ЦЖ} = K_{см.т} \left( Q_{p.10ТП1-1} + Q_{p.10ТП1-2} + Q_{p.10ТП2-1} + Q_{p.10ТП2-2} + Q_{p.10ТП3-1} + Q_{p.10ТП3-2} + Q_{p.10ТП4} \right), \quad (24)$$

де  $K_{см.т}$  – коефіцієнт суміщення максимумів навантажень трансформаторів, який згідно таблиці ДЗ.6 у разі  $n_T = 7$  дорівнює 0,65.

Маємо:

$$P_{p.ЦЖ} = 0,65(379,226 + 441,055 + 413,736 + 407,425 + 2 \cdot 431,445 + 483,77) = 1942,266 \text{ кВт},$$

$$Q_{p.ЦЖ} = 0,65(229,412 + 229,818 + 262,072 + 186,906 + 2 \cdot 202,245 + 189,341) = 976,325 \text{ кВ} \cdot \text{Ар}.$$

Знаходимо повне розрахункове навантаження секції збірних шин ЦЖ за виразом

$$S_{p.ЦЖ} = \sqrt{P_{p.ЦЖ}^2 + Q_{p.ЦЖ}^2}. \quad (25)$$

Маємо:

$$S_{p.ЦЖ} = \sqrt{1942,266^2 + 976,325^2} = 2173,846 \text{ кВ} \cdot \text{А}.$$

Знаходимо розрахунковий струм за виразом

$$I_{p.ЦЖ} = \frac{S_{p.ЦЖ}}{\sqrt{3}U_H}. \quad (26)$$

Маємо:

$$I_{p.ЦЖ} = \frac{2173,846}{\sqrt{3} \cdot 10} = 125,507 \text{ А}.$$

Вибираємо переріз кабелю АВВГ за умови

$$\frac{I_{p.ЦЖ}}{1,3} \leq I_d, \quad (27)$$

$$\frac{125,507}{1,3} = 96,544 \leq I_d.$$



За допомогою таблиці Д3.9 вибираємо кабель АПвП-10 3×35 з допустимим струмовим навантаженням  $I_{\text{доп}} = 119 \text{ А}$ .

5 Вибираємо та перевіряємо на термічну та електродинамічну стійкості вимикач навантаження (ВН) з заземлюючими ножами, що встановлений за запобіжником на стороні високої напруги трансформатора ТП1.

5.1 Вибираємо ВН за напругою та значенням струму тривалого об'яженого режиму

$$U_{\text{н}} \geq U_{\text{уст}}, I_{\text{н}} \geq I_{\text{обв}}, \quad (27)$$

де  $U_{\text{н}}$ ,  $I_{\text{н}}$  – паспортні номінальні значення відповідно напруги та струму вимикача навантаження;

$U_{\text{уст}}$  – номінальна напруга електроустановки, де за умовою завдання встановлюється ВН (рис. 3.1),  $U_{\text{уст}} = 10 \text{ кВ}$ ;

$I_{\text{обв}}$  – значення струму об'яженого режиму, що знаходимо з врахуванням можливого аварійного перевантаження трансформатора у разі відмикання другого трансформатора ТП1, та розраховуємо за виразом

$$I_{\text{обв}} = \frac{\sqrt{(S_{\text{р.1-1}} \cos \varphi_{1-1} + S_{\text{р.1-2}} \cos \varphi_{1-2})^2 + (S_{\text{р.1-1}} \sin \varphi_{1-1} + S_{\text{р.1-2}} \sin \varphi_{1-2})^2}}{\sqrt{3} U_{\text{уст}}}. \quad (28)$$

Розрахункові навантаження трансформаторів ТП1  $S_{\text{р.1-1}}$  та  $S_{\text{р.1-2}}$ , а також  $\cos \varphi_{1-1}$  та  $\cos \varphi_{1-2}$  беремо з таблиці 3.4.

Маємо:

$$I_{\text{обв}} = \frac{\sqrt{(425,5 \cdot 0,88 + 478,7 \cdot 0,91)^2 + (425,5 \cdot 0,47 + 478,7 \cdot 0,41)^2}}{\sqrt{3} \cdot 10} = 52,1 \text{ А}.$$

Для визначення  $I_{\text{обв}}$  можливе використання іншої формули

$$I_{\text{обв}} = 1,4 \frac{S_{\text{н.т}}}{\sqrt{3} U_{\text{уст}}}, \quad (29)$$

де  $I_{\text{обв}}$  – значення струму об'яженого режиму, що знаходимо з врахуванням перевантажувальної здатності трансформатора на 40 %.

Номинальна повна потужність трансформатора  $S_{н.т} = 630$  кВ·А вказана на рисунку 3.1.

Маємо:

$$I_{обв} = 1,4 \frac{630}{\sqrt{3} \cdot 10} = 50,922 \text{ А.}$$

Вибираємо з таблиці Д3.15 ВН типу ВНРп-10/400-10зп із заземлюючими ножами, що встановлений за запобіжником («зп»), про що вказано в умові завдання та визначено у структурі умовних позначень.

За таблицею Д3.15 визначаємо паспортні дані вибраного ВН, які необхідні для його перевірки на термічну та електродинамічну стійкості:

- номінальна напруга  $U_n = 10$  кВ;
- номінальний струм  $I_n = 400$  А;
- максимальний струм (струм електродинамічної стійкості)  $i_{дин} = 25$  кА;
- номінальне початкове значення періодичного складової струму КЗ (струм відмикання)  $I_{н.відм} = 10$  кА;
- середньоквадратичне значення струму за час його протікання (струм термічної стійкості)  $I_T = 10$  кА;
- час протікання струму (час короткого замикання)  $t_T = 1$  с.

Розраховуємо струми КЗ за умов:

- вид КЗ – трифазне;
- місце КЗ – за ВН або, що рівнозначно, перед ним (рис. 3.1);
- момент часу з початку КЗ, для якого розраховується струм ( $t = 0$  – розраховується надперехідний струм КЗ).

Розрахункова схема представлена на рисунку 3.1. Система С, як джерело живлення, у вихідних даних задана типом вимикача В, що встановлений на приєднанні ЦЖ до системи. Вважаємо, що за цим вимикачем надперехідний струм трифазного КЗ у точці К1<sup>(3)</sup> дорівнює паспортному номінальному значенню струму відмикання вимикача В:

$$I_{К1}^{(3)} = I_{відм}. \quad (30)$$

Маємо:

$$I_{K1}^{(3)} = 31,5 \text{ кА.}$$

Вихідні дані для кабельної лінії, що живить ТП1 – ТП4, беремо з попередніх розрахунків (пункт 4 – кабель типу АПвП-10-(3 × 95)) та таблиць 3.4 (довжина лінії між ЦЖ та ТП1  $L_{\text{ЦЖ-ТП1}} = 600 \text{ м}$ ) і Д3.9 (питомі опори для АПвП-10 3х95 –  $r_0 = 0,320 \text{ Ом/км}$ ,  $x_0 = 0,083 \text{ Ом/км}$ ).

Через ВН буде протікати найбільший струм у режимі трифазного КЗ – точка К2<sup>(3)</sup> (рис. 3.2).

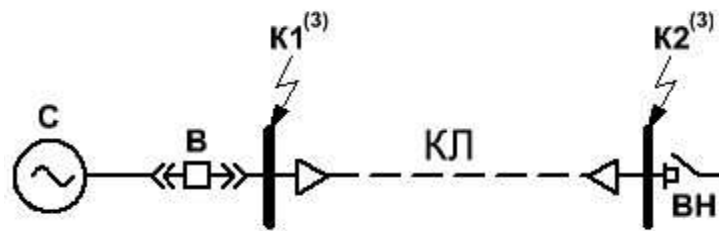


Рис. 3.2. Розрахункова схема.

Вихідні дані розрахункової схеми:

$$\text{С: } U_{\text{н}} = 10 \text{ кВ, } I_{K1}^{(3)} = I_{\text{відк}} = 31,5 \text{ кА;}$$

$$\text{КЛ: АПвП-10 3х95, } L = 600 \text{ м, } r_0 = 0,320 \text{ Ом/км, } x_0 = 0,083 \text{ Ом/км.}$$

5.2 Складаємо схему заміщення (рисунок 3.3).

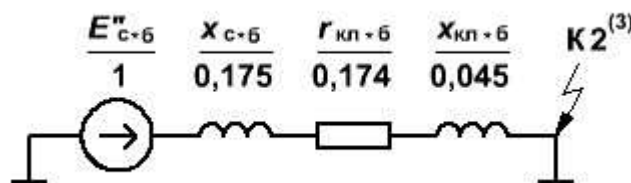


Рис. 3.3. Схема заміщення

Задаємо базисні умови  $S_6 = 100 \text{ МВ}\cdot\text{А}$ ,  $U_6 = U_{\text{н.сер}} = 10,5 \text{ кВ}$  (у розрахунках режиму КЗ використовуємо середні номінальні напруги) та розраховуємо параметри елементів схеми заміщення у відносних базисних одиницях:

- система

$$x_{c*6} = \frac{U_{н.сер}}{\sqrt{3}I_{відм}} \frac{S_6}{U_6^2}, \quad (31)$$

$$x_{c*6} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 31,5} \frac{100}{10,5^2} = 0,175,$$

- кабельна лінія

$$x_{кл*6} = x_0 L \frac{S_6}{U_6^2}, \quad (32)$$

$$r_{кл*6} = r_0 L \frac{S_6}{U_6^2}, \quad (33)$$

$$x_{кл*6} = 0,083 \cdot 0,6 \frac{100}{10,5^2} = 0,045,$$

$$r_{кл*6} = 0,32 \cdot 0,6 \frac{100}{10,5^2} = 0,174.$$

### 5.3 Розраховуємо результуючий опір схеми заміщення:

- індуктивний опір

$$x_{рез*6} = x_{c*6} + x_{кл*6}, \quad (34)$$

$$x_{рез*6} = 0,175 + 0,045 = 0,220,$$

- активний опір

$$r_{рез*6} = r_{кл*6}, \quad (35)$$

$$r_{рез*6} = 0,174,$$

- модуль повного опору

$$z_{рез*6} = \sqrt{x_{рез*6}^2 + r_{рез*6}^2}, \quad (36)$$

$$z_{рез*6} = \sqrt{0,174^2 + 0,22^2} = 0,280.$$

5.4 Розраховуємо надперехідний струм трифазного КЗ (початкове діюче значення періодичного складової повного струму трифазного КЗ) у точці К2<sup>(3)</sup> за виразом

$$I_{К2}^{(3)} = \frac{E''_{c*6}}{z_{рез*6}} \frac{S_6}{\sqrt{3}U_6}. \quad (37)$$

Маємо:

$$I_{K2}^{(3)} = \frac{1}{0,28} \frac{100}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 19,638 \text{ кА.}$$

5.5 Розраховуємо ударний струм у точці К2<sup>(3)</sup>:

$$i_y = K_y \sqrt{2} I_{K2}^{(3)}. \quad (38)$$

$$i_y = 1,8 \cdot \sqrt{2} \cdot 19,638 = 49,990 \text{ кА.}$$

5.6 Перевіряємо ВН на термічну та електродинамічну стійкості за умов:

$$i_{\text{дин}} \geq i_y, \quad (39)$$

$$I_{\text{н.відм}} \geq I_{K2}^{(3)}, \quad (40)$$

$$I_T^2 t_T \geq B_K, \quad (41)$$

де  $B_K$  – розрахунковий тепловий імпульс, що виділяється за час КЗ. У практиці розрахунків КЗ та в навчальному проектуванні розраховується за формулою

$$B_K = (I_{K2}^{(3)})^2 (t_{\text{відкл}} + T_a); \quad (42)$$

$I_T, t_T$  – відповідно значення номінальних струму та часу термічної стійкості (паспортні дані);

$t_{\text{відкл}} = 0,5$  – розрахунковий час КЗ за умови;

$T_a = 0,01$  с – стала часу затухання аперіодичного складника струму КЗ за умови.

5.7 Не підраховуючи  $B_K$  за виразом (42), можна побачити, що у нашому випадку умови перевірки (39) та (40) для вибраного ВН не виконуються:

$$i_{\text{дин}} = 20 \text{ кА} < i_{\text{уд}} = 49,990 \text{ кА},$$

$$I_{\text{н.відм}} = 10 \text{ кА} < I_{K1}^{(3)} = 19,638 \text{ кА.}$$

Таким чином, вибраний ВН типу ВНРп-10/400-10зп не відповідає умовам перевірки.

5.8 Вибираємо з таблиці Д3.15 ВН типу ВНАп-10/400-20зп, у якого  $U_H = 10$  кВ,  $I_H = 400$  А,  $i_{\text{дин}} = 51$  кА,  $I_{\text{н.відм}} = 20$  кА,  $I_T = 20$  кА,  $t_T = 1$  с.

Цей ВН відповідає умовам перевірки (39) та (40).

5.10 Розраховуємо тепловий імпульс  $B_K$  за формулою (42) та виконуємо перевірку умови (41):

$$B_K = 19,638^2 (0,5 + 0,01) = 196,682 \text{ кА}^2 \cdot \text{с},$$

$$I_T^2 t_T = 20^2 \cdot 1 = 400 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}.$$

Умова перевірки (41) виконується. Таким чином, вибираємо ВН типу ВНАп-10/400-20зп. Порівняльні дані зведено у таблицю 3.6.

Таблиця 3.6. Розрахункові та каталожні дані вимикача навантаження

Розрахункові дані	Каталожні дані
$U_{\text{уст}} = 10$ кВ	$U_H = 10$ кВ
$I_{\text{обв}} = 50$ А	$I_H = 400$ А
$i_Y = 49,990$ кА	$i_{\text{дин}} = 51$ кА
$I_{K2}^{(3)} = 19,638$ кА	$I_{\text{н.відм}} = 20$ кА
$B_K = 196,682 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$I_T^2 t_T = 400 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

6 Розрахуємо рівень напруги на шинах 0,4 кВ ТП4 за умов, що на шинах 10 кВ ЦЖ підтримується напруга 10,2 кВ.

6.1 Знаходимо активне та реактивне розрахункове навантаження між ЦЖ та ТП1 за виразами

$$P_{\text{р.ЦЖ-ТП1}} = K_{\text{см.т}} (P_{\text{р.10ТП1-2}} + P_{\text{р.10ТП2-2}} + P_{\text{р.10ТП3-2}} + P_{\text{р.10ТП4}}), \quad (45)$$

$$Q_{\text{р.ЦЖ-ТП1}} = K_{\text{см.т}} (Q_{\text{р.10ТП1-2}} + Q_{\text{р.10ТП2-2}} + Q_{\text{р.10ТП3-2}} + Q_{\text{р.10ТП4}}), \quad (46)$$

де  $K_{\text{см.т}}$  – коефіцієнт суміщення максимумів навантажень трансформаторів, який згідно таблиці Д3.6 у разі  $n_T = 4$  дорівнює 0,7.

Маємо:

$$P_{\text{р.ЦЖ-ТП1}} = 0,7(441,055 + 407,425 + 431,445 + 483,77) = 1219,838 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{р.ЦЖ-ТП1}} = 0,7(229,818 + 186,906 + 202,245 + 189,341) = 480,230 \text{ кВ} \cdot \text{Ар}.$$

Знаходимо втрату напруги в лінії між ЦЖ та ТП1 за виразом

$$\Delta U_i = \frac{L_i(P_i r_0 + Q_i x_0)}{U_i}, \quad (47)$$

де  $L_i$  – довжина  $i$ -ї ділянки лінії;

$P_i, Q_i$  – активне та реактивне навантаження  $i$ -ї ділянки лінії відповідно;

$U_i$  – фактичний рівень напруги.

Маємо:

$$\Delta U_{\text{ЦЖ-ТП1}} = \frac{0,6(1219,838 \cdot 0,32 + 480,23 \cdot 0,083)}{10,2} = 0,025 \text{ кВ.}$$

6.2 Знаходимо активне та реактивне розрахункове навантаження між ТП1 та ТП2 за виразами (45) та (46). Вибираємо  $K_{\text{см.т}}$  згідно таблиці Д3.6; у разі  $n_{\text{т}} = 3$  він дорівнює 0,7.

Маємо:

$$P_{\text{р.ТП1-ТП2}} = 0,7(407,425 + 431,445 + 483,77) = 914,906 \text{ кВт,}$$

$$Q_{\text{р.ТП1-ТП2}} = 0,7(186,906 + 202,245 + 189,341) = 341,299 \text{ кВ}\cdot\text{Ар.}$$

Знаходимо втрату напруги в лінії між ТП1 та ТП2 за виразом (47):

$$\Delta U_{\text{ТП1-ТП2}} = \frac{0,5(914,906 \cdot 0,32 + 341,299 \cdot 0,083)}{10,2 - 0,025} = 0,016 \text{ кВ.}$$

6.3 Знаходимо активне та реактивне розрахункове навантаження між ТП2 та ТП3 за виразами (45) та (46). Вибираємо  $K_{\text{см.т}}$  згідно таблиці Д6; у разі  $n_{\text{т}} = 2$  він дорівнює 0,9.

Маємо:

$$P_{\text{р.ТП2-ТП3}} = 0,9(431,445 + 483,77) = 813,803 \text{ кВт,}$$

$$Q_{\text{р.ТП2-ТП3}} = 0,9(202,245 + 189,341) = 295,543 \text{ кВ}\cdot\text{Ар.}$$

Знаходимо втрату напруги в лінії між ТП2 та ТП3 за виразом (47):

$$\Delta U_{\text{ТП2-ТП3}} = \frac{0,5(813,803 \cdot 0,32 + 295,543 \cdot 0,083)}{10,2 - 0,025 - 0,016} = 0,014 \text{ кВ.}$$

6.4 Знаходимо втрату напруги в лінії між ТП3 та ТП4 за виразом (47):

$$\Delta U_{\text{ТП3-ТП4}} = \frac{0,45(477,881 \cdot 0,32 + 155,941 \cdot 0,083)}{10,2 - 0,025 - 0,016 - 0,014} = 0,007 \text{ кВ.}$$

6.5 Знаходимо фактичне значення рівня напруги на шині 10 кВ трансформатора ТП4 за виразом

$$U_{10\text{ТП4}} = U_{\text{ЦЖ}} - \Delta U_{\text{ЦЖ-ТП4}}, \quad (48)$$

$$U_{10\text{ТП4}} = 10,2 - 0,016 - 0,014 - 0,007 = 10,138 \text{ кВ.}$$

6.6 Розраховуємо втрату напруги у трансформаторі ТП4 за виразом

$$\Delta U_{\text{т}} = \frac{P_{\text{ТП4}} r_{\text{т}} + Q_{\text{ТП4}} x_{\text{т}}}{U_{10 \text{ ТП4}}^2}, \quad (49)$$

де  $r_{\text{т}}$ ,  $x_{\text{т}}$  – опори трансформатора відповідно.

Опори трансформатора розраховуємо за виразами

$$r_{\text{т}} = \frac{P_{\text{к}} U_{\text{нн}}^2 \cdot 10^3}{S_{\text{н}}^2}, \quad (50)$$

$$x_{\text{т}} = \frac{10 U_{\text{нн}}^2 u_{\text{к}}}{S_{\text{н}}^2}, \quad (51)$$

де  $P_{\text{к}}$  – потужність короткого замикання; вибирається за таблицею ДЗ.11;

$U_{\text{нн}}$  – номінальна напруга на низькій стороні; вибирається за таблицею ДЗ.11;

$S_{\text{н}}$  – номінальна потужність; вибирається за таблицею ДЗ.11;

$u_{\text{к}}$  – напруга короткого замикання; вибирається за таблицею ДЗ.11.

Маємо:

$$r_{\text{т}} = \frac{7600 \cdot 0,4^2 \cdot 10^3}{630^2} = 3,064 \cdot 10^{-3} \text{ Ом,}$$

$$x_{\text{т}} = \frac{10 \cdot 0,4^2 \cdot 5,5}{630} = 13,968 \cdot 10^{-3} \text{ Ом.}$$

Розраховуємо втрату напруги у трансформаторі ТП4 за виразом (49):



$$\Delta U_{\tau} = \frac{477,881 \cdot 3,064 \cdot 10^{-3} + 155,941 \cdot 13,968 \cdot 10^{-3}}{10,138} = 359 \cdot 10^{-3} \text{ кВ.}$$

6.7 Знаходимо фактичне значення рівня напруги на шині 0,4 кВ трансформатора ТП4 за виразом

$$U_{0,4\text{ТП4}} = (U_{10\text{ТП4}} - \Delta U_{\tau}) \frac{U_{\text{нн}}}{U_{\text{вн}}}, \quad (52)$$

$$U_{0,4\text{ТП4}} = (10,138 - 359 \cdot 10^{-3}) \frac{0,4}{10} = 0,405 \text{ кВ.}$$

### **Відповідь:**

- 1 Розрахункове навантаження трансформаторної підстанції ТП3 за умови, що від неї за двопроменевою схемою отримують живлення електроприймачі, складає  $S_{\text{р},0,4\text{ТП3}} = 459,897 \text{ кВ}\cdot\text{А}$ .
- 2 Розрахункове навантаження трансформаторної підстанції ТП4, від якої отримує живлення цех промислового підприємства, складає  $S'_{\text{р},0,4\text{ТП4}} = 611,135 \text{ кВ}\cdot\text{А}$ .
- 3 Номінальна потужність конденсаторної батареї, яка встановлюється на шинах 0,4 кВ ТП4 і повинна забезпечити  $\text{tg}\varphi = 0,329$ , складає  $Q_{\text{КБ}} = 225 \text{ кВ}\cdot\text{Ар}$ . Скориговане розрахункове навантаження з урахуванням вибраної КБ складає  $S_{\text{р},0,4\text{ТП4}} = 502,681 \text{ кВ}\cdot\text{А}$ .
- 4 Мінімально допустимий за технічними критеріями переріз кабелю, що живить трансформатори ТП1 - ТП4 є (3×95), тобто приймаємо кабель типу АПвП-10-(3×95).
- 5 Вибрано вимикач навантаження типу ВНАп-10/400-20зп. Каталожні дані наведено у таблиці Д3.15.
- 6 Рівень напруги на шинах 0,4 кВ ТП4 за умови, що на шинах 10 кВ ЦЖ підтримується напруга 10,2 кВ, складає  $U_{0,4\text{ТП4}} = 0,405 \text{ кВ}$ .

### **Завдання 2:**

Які будують криві, що використовують під час розрахунків освітлення? Які вихідні дані необхідні для розрахунків, які фізичні величини

і за якими виразами розраховують з використанням цих кривих? Особливості розрахунку освітлення люмінесцентного світильника.

### Довідкові дані:

Довідкові дані наведено на рисунках Д3.1–Д3.3.

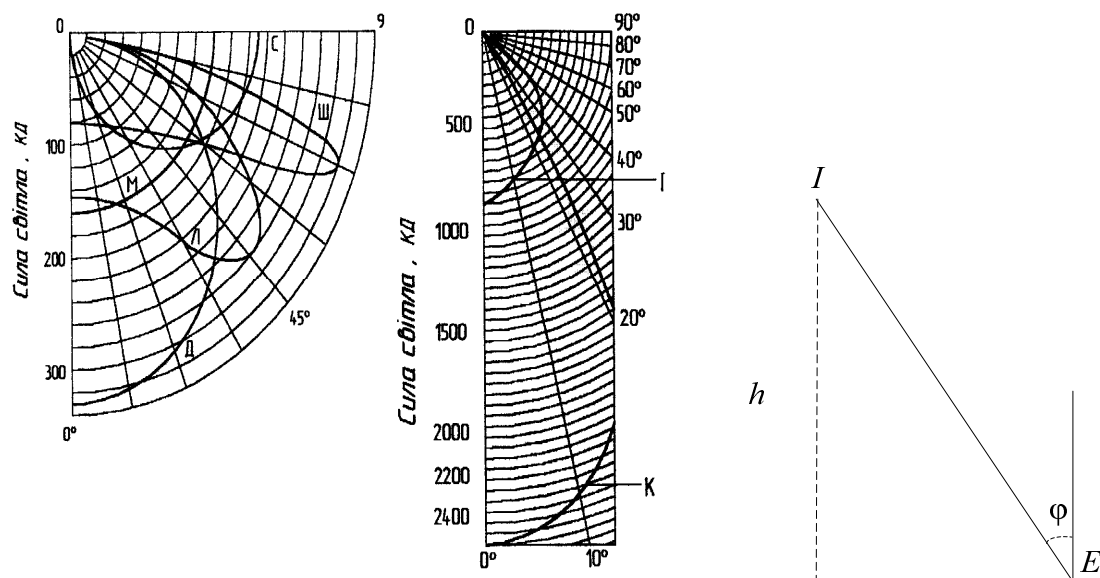


Рис. Д.3.1. Криві сили світла

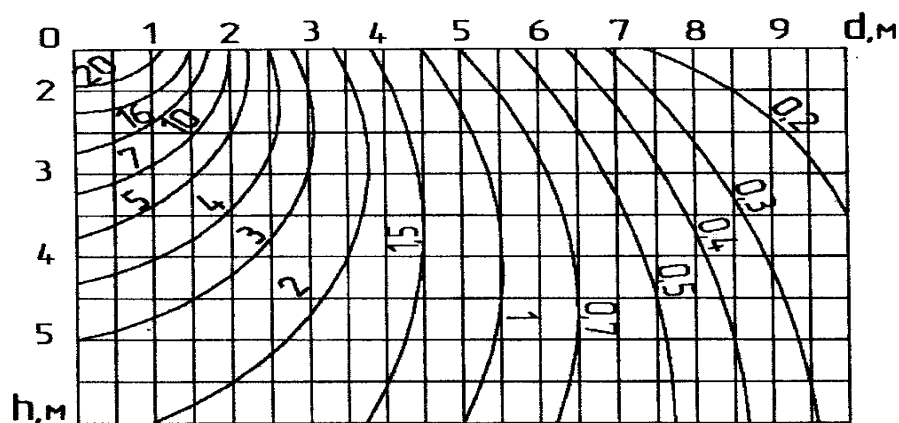


Рис. Д.3.2. Криві просторових ізолюкс

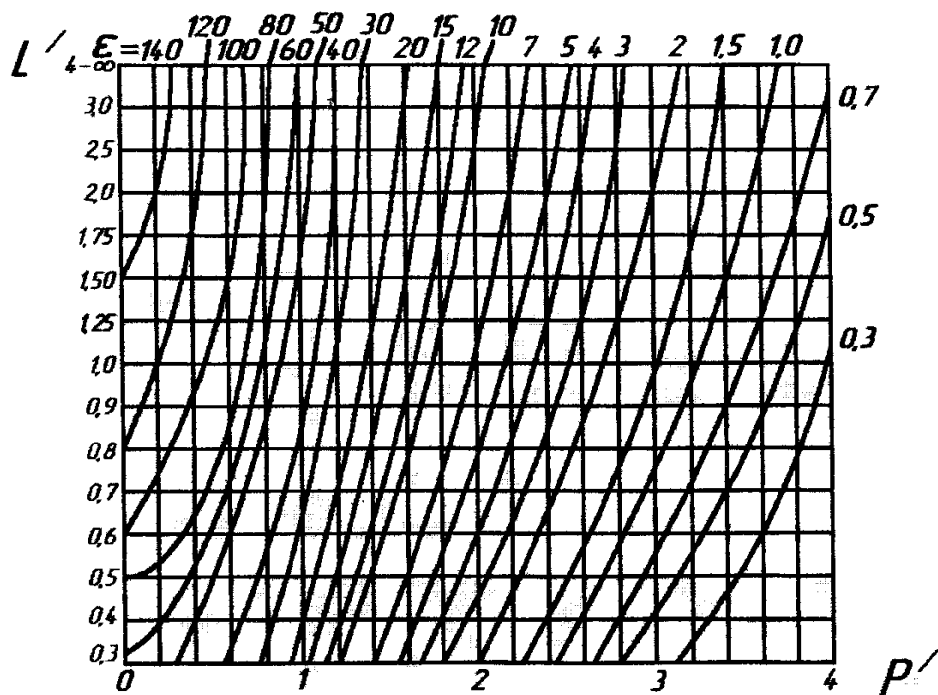


Рис. Д.3.3. Криві відносних ізолюкс

## Рішення 2:

1. Криві сили світла (рис. Д.3.1) будують для умовного світильника зі світловим потоком 1000 лм.

Вихідними даними для розрахунків є конкретний світильник і план розміщення світильників.

Криві використовують для визначення освітленості  $E$  в конкретній точці за виразом

$$E = \frac{c I_a \cos^3 \varphi}{h^2}, \text{ лк,}$$

де  $c$  – відношення фактичного світлового потоку до умовного;

$I_a$  – сила світла за кривою для визначеного  $\varphi$ ;

$\varphi$  – кут падіння променя;

$h$  – висота підвісу світильника, м.

За наявності декількох світильників визначають освітленість від кожного світильника і загальна освітленість дорівнює алгебраїчній сумі освітленості від усіх точок.

2. Криві просторових ізолюкс (рис. Д.3.2) будують для конкретного типу точкового світильника. Вихідними даними для розрахунків є план розміщення світильників і тип світильника. Розрахунками знаходять світловий потік  $\Phi$  прийнятого типу світильника за виразом

$$\Phi = \frac{\kappa E_{\min} 1000}{\mu \Sigma e}, \text{ лм,}$$

де  $\kappa$  – коефіцієнт запасу;

$E_{\min}$  – мінімальна освітленість, лк;

$\mu$  – коефіцієнт неврахування віддалених світильників в  $\Sigma e$ ;

$\Sigma e$  – сума освітленості за кривими.

Визначення конкретного значення  $e$  відбувається за кривими в функції висоти підвісу світильника  $h$  і відстані від проекції світильника до розрахункової точки  $d$ .

3. Криві відносних ізолюкс (рис. Д.3.3) будують і використовують для розрахунків освітлення люмінесцентними світильниками.

Вихідними даними є план розміщення ліній, що світять, і прийнятий тип світильника. Розрахунками вибирається конкретний світильник і кількість світильників.

Спочатку визначають питомий світловий потік за виразом

$$F = \frac{1000 \kappa E_{\min} h_p}{\mu \Sigma \epsilon}, \text{ лм/м,}$$

де  $h_p$  – рекомендована висота підвісу світильника, м;

$\Sigma \epsilon$  – сумарне значення відносної освітленості за кривими просторових ізолюкс.

Значення відносної освітленості  $\epsilon$  визначають за кривими рис. Д.3.3 в залежності від  $p' = p/h$  і  $L' = L/h$ , які можна визначити за рис. 3.7.

Необхідний світловий потік світильників у ряду дорівнює

$$\Phi = FL, \text{ лм.}$$

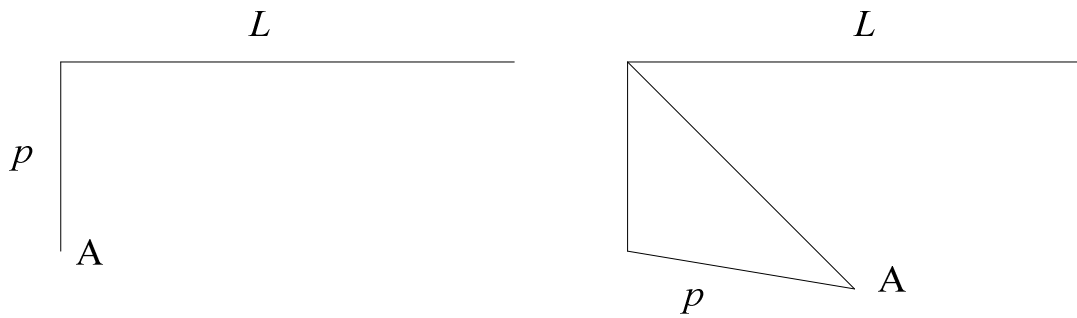


Рис. 3.7. Розрахункова схема

Кількість світильників знаходять за виразом

$$N_{\text{св}} = \frac{\Phi}{n\Phi_{\text{л}}},$$

де  $\Phi_{\text{л}}$  – світловий потік лампи світильника, лм;

$n$  – кількість ламп у світильнику.

Особливістю розрахунків є розміщення розрахункової точки в кінці лінії, що світить.

Якщо точка розміщується між кінцями лінії (рис. 3.8), то лінію розбивають на дві складові, знаходять  $\epsilon$  від кожної з складових і результати додають.

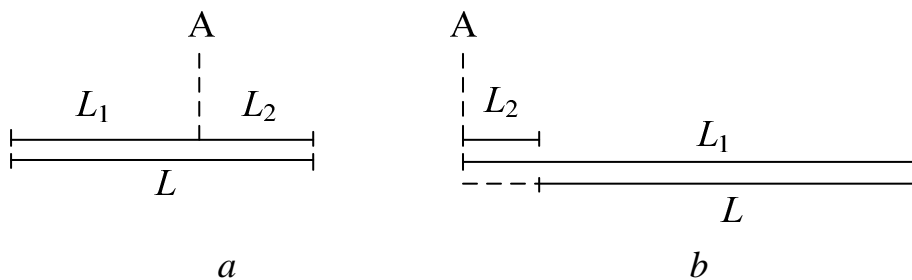


Рис. 3.8. Схема розміщення розрахункової точки

Якщо точка розташована за межами лінії (рис. 3.8), то одна із складових буде дорівнювати довжині лінії плюс відстань по горизонталі до розрахункової точки; друга складова буде дорівнювати відстані від кінця лінії до розрахункової точки. Визначається  $\epsilon$  для кожної складової і результати віднімають.

### Завдання 3:

Знайти:

1. Статистичну імовірність  $p^*$  перебування величини усталеного відхилення напруги  $\delta U_y$  в інтервалі  $(-5\% \leq \delta U_y \leq 5\%)$ .
2. Математичне сподівання  $m_{\delta U_y}$  та середньоквадратичне відхилення  $\sigma_{\delta U_y}$ .
3. Чи можна вважати, що закон розподілу величини усталених відхилень напруги є нормальним?

### Вихідні дані:

Статистичні дані  $n$  вимірювань випадкової величини усталених відхилень напруги  $\delta U_y$  на шинах 0,4 кВ ТП зведено в інтервальний ряд розподілу (таблиця 3.7).

Таблиця 3.7. Інтервальний ряд розподілу

Номер $i$ -го інтервалу	Межі $i$ -го інтервалу		Статистична кількість $n^*_i$ потраплянь в $i$ -й інтервал
	$\delta U_{y,i.min}, \%$	$\delta U_{y,i.max}, \%$	
1	-10	-7,5	20
2	-7,5	-5,0	80
3	-5,0	-2,5	160
4	-2,5	0	220
5	0	2,5	240
6	2,5	5,0	120
7	5,0	7,5	100
8	7,5	10	60

### Довідкові дані:

Довідкові дані наведено в таблицях Д3.17, Д3.18.

Таблиця ДЗ.17. Функція Лапласа

$$\Phi(U) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^U e^{-t^2/2} dt = \frac{1}{2} \operatorname{erf}\left(\frac{U}{\sqrt{2}}\right) = \Phi_u(U) - \frac{1}{2}$$

U	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.0	0,00000	00399	00798	01197	01595	01994	02392	02790	03183	03586
0.1	03983	04380	04776	05172	05567	05962	06356	06749	07142	07535
0.2	07926	08317	08706	09095	09483	09871	10257	10642	11026	11409
0.3	11791	12172	12552	12930	13307	13683	14058	14431	14803	15173
0.4	15542	15910	16276	16640	17003	17364	17724	18082	18439	18793
0.5	19146	19497	19847	20194	20540	20884	21226	21566	21904	22240
0.6	22575	22907	23237	23565	23891	24215	24537	24857	25175	25490
0.7	25804	26115	26424	26730	27035	27337	27637	27935	28230	28524
0.8	28814	29103	29389	29673	29955	30234	30511	30785	31057	31327
0.9	31594	31859	32121	32381	32639	32894	33147	33398	33646	33891
1.0	34134	34375	34614	34850	35083	35314	35543	35769	35993	36214
1.1	36433	36650	36864	37076	37286	37493	37698	37900	38100	38298
1.2	38493	38686	38877	39065	39251	39435	39617	39796	39973	40147
1.3	40320	40490	40658	40824	40988	41149	41308	41466	41621	41774
1.4	41924	42073	42220	42364	42507	42647	42786	42922	43056	43189
1.5	43319	43448	43574	43699	43822	43943	44062	44179	44295	44408
1.6	44520	44630	44738	44845	44950	45053	45154	45254	45352	45449
1.7	45543	45637	45728	45818	45907	45994	46080	46164	46246	46327
1.8	46407	46485	46562	46638	46712	46784	46856	46926	46995	47062
1.9	47128	47193	47257	47320	47381	47441	47500	47558	47615	47670
2.0	47725	47778	47831	47882	47932	47982	48030	48077	48124	48169
2.1	48214	48257	48300	48341	48382	48422	48461	48500	48537	48574
2.2	48610	48645	48679	48713	48745	48778	48809	48840	48870	48899
2.3	48928	48956	48983	49010	49036	49061	49086	49111	49134	49158
2.4	49180	49202	49224	49245	49266	49286	49305	49324	49343	49361
2.5	49379	49396	49413	49430	49446	49461	49477	49492	49506	49520
2.6	49534	49547	49560	49573	49585	49598	49609	49621	49632	49643
2.7	49653	49664	49674	49683	49693	49702	49711	49720	49728	49736
2.8	49744	49752	49760	49767	49774	49781	49788	49795	49801	49807
2.9	49813	49819	49825	49831	49836	49841	49846	49851	49856	49861
3.0	49865									
3.5	4997674									
4.0	4999683									
4.5	4999966									
5.0	4999997133									

Таблиця ДЗ.18.  $\chi^2$ –розподіл

р	0.99	0.98	0.95	0.90	0.80	0.70	0.50	0.30	0.20	0.10	0.05	0.02	0.01	0.001
1	0,000	0,001	0,004	0,016	0,064	0,148	0,455	1,074	1,642	2,71	3,84	5,41	6,64	10,83
2	0,020	0,040	0,103	0,211	0,446	0,713	1,386	2,41	3,22	4,60	5,99	7,82	9,21	13,82
3	0,115	0,185	0,352	0,584	1,005	1,424	2,37	3,66	4,64	6,25	7,82	9,84	11,34	16,27
4	0,297	0,429	0,711	1,064	1,649	2,20	3,36	4,88	5,99	7,78	9,49	11,67	13,28	18,46
5	0,554	0,752	1,145	1,610	2,34	3,00	4,35	6,06	7,29	9,24	11,07	13,39	15,09	20,5
6	0,872	1,134	1,635	2,20	3,07	3,83	5,35	7,23	8,56	10,64	12,59	15,03	16,81	22,5
7	1,239	1,564	2,17	2,83	3,82	4,67	6,35	8,38	9,80	12,02	14,07	16,62	18,48	24,3
8	1,646	2,03	2,73	3,49	4,59	5,53	7,34	9,52	11,03	13,36	15,51	18,17	20,1	26,1
9	2,09	2,53	3,32	4,17	5,38	6,39	8,34	10,66	12,24	14,68	16,92	19,68	21,7	27,9
10	2,56	3,06	3,94	4,86	6,18	7,27	9,34	11,78	13,44	15,99	18,31	21,2	23,2	29,6
11	3,05	3,61	4,58	5,58	6,99	8,15	10,34	12,90	14,63	17,28	19,68	22,6	24,7	31,3
12	3,57	4,18	5,23	6,30	7,81	9,03	11,34	14,01	15,81	18,55	21,0	24,1	26,2	32,9
13	4,11	4,76	5,89	7,04	8,63	9,93	12,34	15,12	16,98	19,81	22,4	25,5	27,7	34,6
14	4,66	5,37	6,57	7,79	9,47	10,82	13,34	16,22	18,15	21,1	23,7	26,9	29,1	36,1
15	5,23	5,98	7,26	8,55	10,31	11,72	14,34	17,32	19,31	22,3	25,0	28,3	30,6	37,7
16	5,81	6,61	7,96	9,31	11,15	12,62	15,34	18,42	20,5	23,5	26,3	29,6	32,0	39,3
17	6,41	7,26	8,67	10,08	12,00	13,53	16,34	19,51	21,6	24,8	27,6	31,0	33,4	40,8
18	7,02	7,91	9,39	10,86	12,86	14,44	17,34	20,6	22,8	26,0	28,9	32,3	34,8	42,3
19	7,63	8,57	10,11	11,65	13,72	15,35	18,34	21,7	23,9	27,2	30,1	33,7	36,2	43,8
20	8,26	9,24	10,85	12,44	14,58	16,27	19,34	22,8	25,0	28,4	31,4	35,0	37,6	45,3
21	8,90	9,92	11,59	13,24	15,44	17,18	20,3	23,9	26,2	29,6	32,7	36,3	38,9	46,8
22	9,54	10,60	12,34	14,04	16,31	18,10	21,3	24,9	27,3	30,8	33,9	37,7	40,3	48,3
23	10,20	11,29	13,09	14,85	17,19	19,02	22,3	26,0	28,4	32,0	35,2	39,0	41,6	49,7
24	10,86	11,99	13,85	15,66	18,06	19,94	23,3	27,1	29,6	33,2	36,4	40,3	43,0	51,2
25	11,52	12,70	14,61	16,47	18,94	20,9	24,3	28,2	30,7	34,4	37,7	41,7	44,3	52,6
26	12,20	13,41	15,38	17,29	19,82	21,8	25,3	29,2	31,8	35,6	38,9	42,9	45,6	54,1
27	12,88	14,12	16,15	18,11	20,7	22,7	26,3	30,3	32,9	36,7	40,1	44,1	47,0	55,5
28	13,56	14,85	16,93	18,94	21,6	23,6	27,3	31,4	34,0	37,9	41,3	45,4	48,3	56,9
29	14,26	15,57	17,71	19,77	22,5	24,6	28,3	32,5	35,1	39,1	42,6	46,7	49,6	58,3
30	14,95	16,31	18,49	20,6	23,4	25,5	29,3	33,5	36,2	40,3	43,8	48,0	50,9	59,7

### Рішення 3:

1. Статистична імовірність  $p^*(-5 \% \leq \delta U_y \leq 5 \%)$  перебування величини  $\delta U_y$  в інтервалі  $(-5 \% \leq \delta U_y \leq 5 \%)$  складається із статистичних імовірностей  $(p_i^* = n_i^* / n)$  перебування її значень у третьому, четвертому, п'ятому та шостому інтервалах:

$$p^*(-5 \% \leq \delta U_y \leq 5 \%) = (n^*_3 + n^*_4 + n^*_5 + n^*_6) / n;$$

$$p^* = (160 + 220 + 240 + 120) / 1000 = 0,74.$$

2. Математичне сподівання  $m_{\delta U_y}$  та середньоквадратичне відхилення  $\sigma_{\delta U_y}$  визначається за формулами:

$$m_{\delta U_y} = \sum \delta U_{y,i} p_i^*, (i = 1, 2, \dots, m),$$

$$\sigma_{\delta U_y} = [\sum (\delta U_{y,i} - m_{\delta U_y})^2 p_i^*]^{0,5}, (i = 1, 2, \dots, m).$$

де  $\delta U_{y,i} = (\delta U_{y,i.п} + \delta U_{y,i.к}) / 2$  – значення величини відхилення напруги для середини інтервалу  $i$ ;

п, к – індекси початку та кінця  $i$ -го інтервалу.

Дані розрахунків зведено в таблицю 3.8, де  $p_i$  – теоретична імовірність потраплянь в  $i$ -й інтервал,  $F(\delta U_{y,i.к})$  – значення теоретичної функції розподілу для граничних величин  $\delta U_{y,i.к}$ .

Таблиця 3.8. Розрахункові дані

№ інтервалу	Границі інтервалу		$n_i^*$	$p_i^*$	$\delta U_{y,i}$	$F(\delta U_{y,i.к})$	$p_i$
	$\delta U_{y,i.п}, \%$	$\delta U_{y,i.к}, \%$					
1	-10	-7,5	20	0,02	-8,75	0,0314	0,0314
2	-7,5	-5,0	80	0,08	-6,25	0,1020	0,0706
3	-5,0	-2,5	160	0,16	-3,75	0,2483	0,1463
4	-2,5	0	220	0,22	-1,25	0,4681	0,2198
5	0	2,5	240	0,24	1,25	0,6950	0,2269
6	2,5	5,0	120	0,12	3,75	0,8643	0,1693
7	5,0	7,5	100	0,10	6,25	0,9554	0,0911
8	7,5	10	60	0,06	8,75	1,0000	0,0446



Математичне сподівання і середньоквадратичне відхилення усталеного відхилення напруги  $\delta U_y$  становлять:

$$m_{\delta U_y} = (-8,75) \cdot 0,02 + (-6,25) \cdot 0,08 + \dots + 8,75 \cdot 0,06 = 0,35 \%,$$

$$\sigma_{\delta U_y} = [(-8,75 - 0,35)^2 \cdot 0,02 + (-6,25 - 0,35)^2 \cdot 0,08 + (2,5 - 1)^2 + \dots + (8,75 - 0,35)^2 \cdot 0,06]^{0,5} = (17,69)^{0,5} = 4,21 \%.$$

3. Для перевірки гіпотези про нормальний розподіл величини  $\delta U_y$  використовуємо критерій згоди Пірсона

$$\chi^2 = \sum (n_i^* - np_i)^2 / np_i, \quad i = 1, 2, \dots, m,$$

де  $n_i^*$  – статистична кількість потраплянь значень випадкової величини  $\delta U_y$  в інтервал  $i$  за результатами  $n$  випробувань;

$p_i$  – теоретична імовірність потраплянь значень випадкової величини  $\delta U_y$  в інтервал  $i$  (знаходять як різницю значень функції розподілу  $F(\delta U_{y,i})$  для границь інтервалів);

$m$  – кількість інтервалів.

Значення функції розподілу  $F(\delta U_{y,i,k})$  у таблиці 3.8 знаходять, використовуючи таблицю Д3.17 для функції Лапласа  $\Phi(\delta U_{y,i,k})$  і зв'язок між цією функцією та функцією нормального закону розподілу  $F(\delta U_{y,i,k}) = 0,5 - \Phi(\delta U_{y,i,k})$ :

$$F(\delta U_{y,i,k} = -7,5) = F\{-7,5 - 0,35\} / 4,21\} = F(-1,86) = 0,5 - \Phi(-1,86) = 0,5 - 0,4686 = 0,0314,$$

$$F(\delta U_{y,i,k} = -5,0) = F(-1,27) = 0,5 - 0,3980 = 0,1020,$$

$$F(\delta U_{y,i,k} = -2,5) = F(-0,68) = 0,5 - 0,2517 = 0,2483,$$

$$F(\delta U_{y,i,k} = 0) = F(-0,08) = 0,5 - 0,0319 = 0,4681,$$

$$F(\delta U_{y,i,k} = 2,5) = F(0,51) = 0,5 + 0,1950 = 0,6950,$$

$$F(\delta U_{y,i,k} = 5,0) = F(1,10) = 0,5 + 0,3643 = 0,8643,$$

$$F(\delta U_{y,i,k} = 7,5) = F(1,70) = 0,5 + 0,4554 = 0,9554,$$

$$\chi^2 = [(20 - 1000 \cdot 0,0314)^2 / 1000 \cdot 0,0314] + [(80 - 1000 \cdot 0,0706)^2 / 1000 \cdot 0,0706] + \dots + [(60 - 1000 \cdot 0,0446)^2 / 1000 \cdot 0,0446] = 26,99,$$

$$\chi^2 = 26,99.$$

Кількість ступенів свободи  $r$  становить:

$$r = m - s - 1,$$

де  $s=2$  – кількість параметрів гіпотетичного закону розподілу,

$$r = 8 - 3 = 5.$$

За таблицею Д3.18 залежності  $\chi^2(r, p)$  визначаємо, що  $p$  менша від 0,001, і це свідчить про неприйнятність гіпотези щодо нормального розподілу усталених відхилень напруги в даному прикладі.

**Відповідь:**

1.  $p(-5 \% \leq \delta U_y \leq 5 \%) = 0,74$ .
2.  $m_{\delta U_y} = 0,35 \%$ ,  $\sigma_{\delta u} = 4,21 \%$ .
3. Гіпотеза щодо нормального розподілу випадкової величини  $\delta U_y$  не підтверджується.